보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개( ), 비공개( ) 발간등록번호()

사전 기획 보고서

미래 수소사회 대비 수소도시 기반 시설 및 수소 그리드 기술 개발 사전 기획 최종보고서

2019. 9. 24

주관연구기관 / 고려대학교
위탁연구기관 / 한국에너지기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

‘미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획’(연구개발 기간 : 2018.12.01~ 2019.06.30) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2019. 9. 24.

주관연구기관명:고려대학교 산학협력단장 허 준

위탁연구기관명:한국에너지기술연구원장 곽 병 성

주관연구기관책임자: 이 관영
위탁연구기관책임자: 김 종원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td></td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>1단계
`18.12.01~<br>`19.06.30</td><td>단계구분</td><td>1단계/1단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이 관 영</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 13명
내부: 8명
외부: 5명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 143,000 천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계:143,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 13명
내부: 8명
외부: 5명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 143,000 천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계:143,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="2">고려대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">한국 에너지기술 연구원</td><td colspan="2">연구책임자:김 종 원</td></tr>
</table>

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반, 본 사전 기획 보고서는 향후 본기획을 위해서 지원자들에게 오픈되어야 하므로 일반 등급으로 지정해야 함

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약문

연구의 목적 및 내용	□ 사전기획의 목적 ❍ 국내외 기술동향, 정책동향, 시장동향, 특허동향 등의 조사·분석을 통해 신규 연구개발사업의 추진 타당성 등에 대한 기초 조사 추진 ❍ 도시내 수소에너지 수요를 기반으로 수소 활용을 위한 기초조사 및 수소정책 수립 지원, 기술개발 로드맵 수립 □ 사전기획의 내용 ❍ 수소에너지에 대한 환경적/기술적/경제적 분석을 통한 신규 연구개발사업의 필요성/타당성 분석 – 주요 선진국 수소경제 체제 및 수소 도시 모델 도출 – 수소 시티 정의에 따른 연구 분야의 도출 및 이에 따른 기술 개발 로드맵 구축 ❍ 수소도시 모델별 기술개발 범위를 도출 – 수소 시티를 위한 신규 실증 사업 사전 타당성 평가 및 모델 개발 – 사업분야 별 기초 수요조사 및 핵심 기술 분야 수요 조사
연구개발성과	□ 수소도시 구축 전략 및 방향성 도출 ❍ 국내 수소 경제와 관련된 산업현황, R&D 역량, 기술 수준 등을 평가하여 현 선진국 기술 현황에 대한 수준을 진단 ❍ 수소 도시 사례 분석 – 일본 키타큐슈, 환경성 8개모델, 영국 리드시 모델, 덴마크 롤랜드, 울산 수소타운 등을 분석 ❍ 수소 기술 개발 로드맵 분석 – 미국, 일본, EU, 영국, 네덜란드, 호주, 한국 등의 기술 로드맵을 비교 분석 ❍ 각 선진국의 사례 분석을 통하여 국내에서 추구해야 할 수소 도시 구축을 위한 방향성과 전략을 도출 □ 기술 개발 로드맵 도출 ❍ 지자체 수요와 추구하는 모델을 조사하여 단기와 장기 모델로 구분 – 지자체와의 협의를 통해 단기 모델로 8개의 모델을 도출함 – 장기모델은 국제 협력을 통한 수소 수요량 확보와 공급망 구축 등 국내 수소 도시 구축을 위한 비전을 제시함 ❍ 기술 개발 로드맵 – 타 부처 진행 R&D 등과의 관계를 고려한 `30년 기준의 기술 개발 로드맵 도출 □ 연구단 기획보고서 ❍ 가장 시급한 모델로서 교통과 주거에 대한 수소 도시 구축 모델을 연구단 규모로 기획하여 정리
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	❍ 본 사전기획을 토대로 향후 장기적인 기술개발을 위한 본 기획을 실시하고 상세 기술개발 로드맵을 도출 ❍ 향후 범부처 수소경제활성화 기술 개발 로드맵 도출시 국토교통부 자료로 활용

국문핵심어 (5개 이내)	수소도시	기술개발로드맵	수소교통모델	수소주거모델	해외협력모델
영문핵심어 (5개 이내)	Hydrogen City	TRM	Hydrogen public transport	Hydrogen House	Hydrogen production in Oversea

〈 목 차 〉

제 1장 사업 개요 ····· 1
제 1절 수소 도시 구성을 위한 사전 기획의 범위 ····· 2
제 2절 사전 기획 추진의 필요성 ····· 12
제 3절 사전 기획 추진 경과 ····· 26

제 2장 기술개발 환경 분석 ····· 34
제 1절 국내·외 기술 동향 분석 ····· 35
제 2절 국내·외 시장 및 산업 동향 ····· 117
제 3절 국내·외 정책 동향 ····· 146
제 4절 대내·외적 수소에너지 활용을 위한 환경분석 ····· 172
제 5절 수소 사회 구축 사례 분석 ····· 223
제 6절 시사점 및 기술개발 방향성 ····· 236

제 3장 국내 R&D 역량 분석 ····· 242
제 1절 정부 투자 현황 및 계획 ····· 243
제 2절 국내 기술 역량 조사 및 분석 ····· 249
제 3절 SWOT 분석 및 기술개발의 방향성····· 282

제 4장 사업의 추진 전략 ····· 286
제 1절 기술 수요 및 지자체 모델 조사 ····· 287
제 2절 사업의 비전 및 목표 ····· 336
제 3절 수소도시 모델 도출 ····· 368

제 5장 장·단기 수소도시 모델 세부 계획 ····· 395
제 1절 추진체계 도출 ····· 396
제 2절 단기모델 ····· 404
제 3절 수소도시 주거 모델 ····· 415

제 4절 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술 개발 ····· 421
제 5절 장기모델과 본 기획의 방향성 ····· 432
제 6절 중복성 검토 ····· 454

제 6장 기술 개발 로드맵 ····· 458
제 1절 국가 부처간 추진 기술 ····· 459
제 2절 수소도시 추진 로드맵 ····· 466
제 3절 단기 핵심 모델 ····· 480
제 4절 장기 모델 ····· 484
제 5절 기대 효과 ····· 487

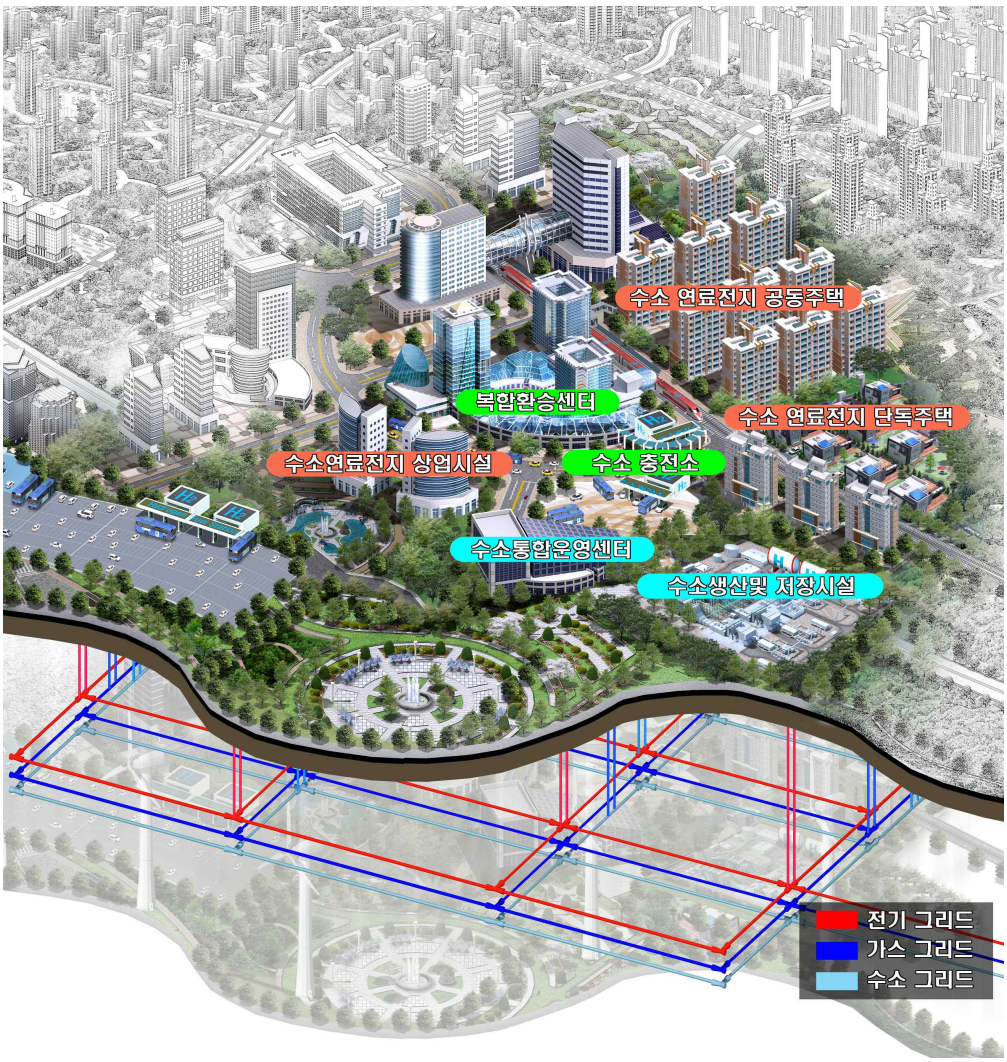
붙임. 참고 문헌

별첨 1. 수소시범도시 인프라 구축을 위한 기술개발 연구단 기획 보고서

별첨 2. 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술개발 연구단 기획 보고서

제 1 장

사 업 개 요


수소 연료전지 공동주택
복합환승센터
수소 연료전지 단독주택
수소연료전지 상업시설
수소 충전소
수소통합운영센터
수소생산및 저장시설
전기 그리드
가스 그리드
수소 그리드

제 1 장 사업 개요

제 1절 수소 도시 구성을 위한 사전 기획의 범위

1. 미래 수소사회 대비 기반시설 및 수소 그리드를 위한 사전기획의 범위

□ 사전기획의 목표

○ 국내외 **기술동향, 정책동향, 시장동향, 특허동향** 등의 조사·분석을 통해 **신규 연구개발사업의 추진 타당성** 등에 대한 **기초 조사 추진**

○ 도시내 수소에너지 수요를 기반으로 수소 활용을 위한 기초조사 및 수소정책 수립 지원, **기술개발 로드맵 수립**

□ 사전기획의 범위

○ 수소에너지에 대한 **환경적/기술적/경제적 분석**을 통한 신규 연구개발사업의 **필요성/타당성 분석**

- 주요 선진국 수소경제 체제 및 수소 도시 모델 도출
- 수소 시티 정의에 따른 연구 분야의 도출 그리고 이에 따른 기술로드맵 구축

○ 수소도시 모델별 **기술개발 범위**를 도출

- 수소 시티를 위한 신규 실증 사업 사전 타당성 평가 및 모델 개발
- 사업분야 별 기초 수요조사 및 핵심 기술 분야 수요 조사

2. 수소 도시의 정의

□ 수소 경제 (Hydrogen Economy)의 정의

○ 제레미 리프킨 (Jeremy Rifkin)의 2002년 저서 <수소 경제>에서 확산된 개념

- 1970년 John Bockris에 의해 용어가 제시되었으나, 전세계적으로 확산된 것은 제레미 리프킨의 “The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth”에서 비롯됨

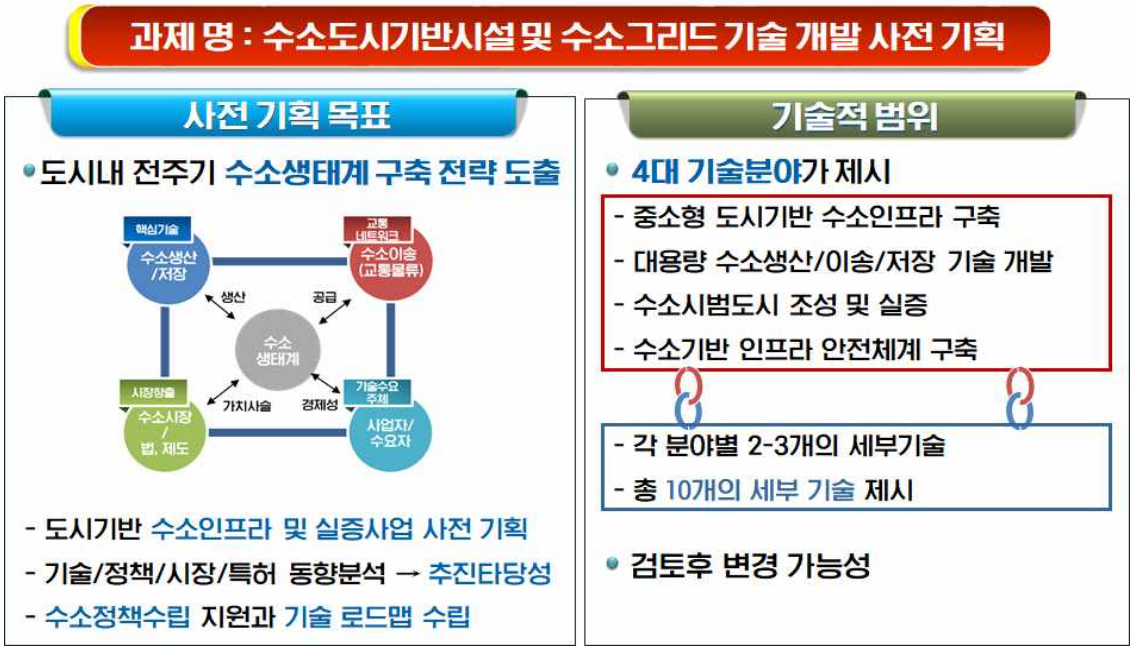


그림 1.1. 사전기획의 목표 및 기술적 범위

- (John, O`M. Bockris) 연료로서 **파이프로 수송**되는 **수소**에 의존한 **산업, 교통 그리고 가정용 에너지 공급 시스템**으로 정의

  * International Journal of Hydrogen Energy에서 더 좁은 의미로 신재생에너지로부터 수송용으로 사용되는 수소로서 정의함 (2002년)

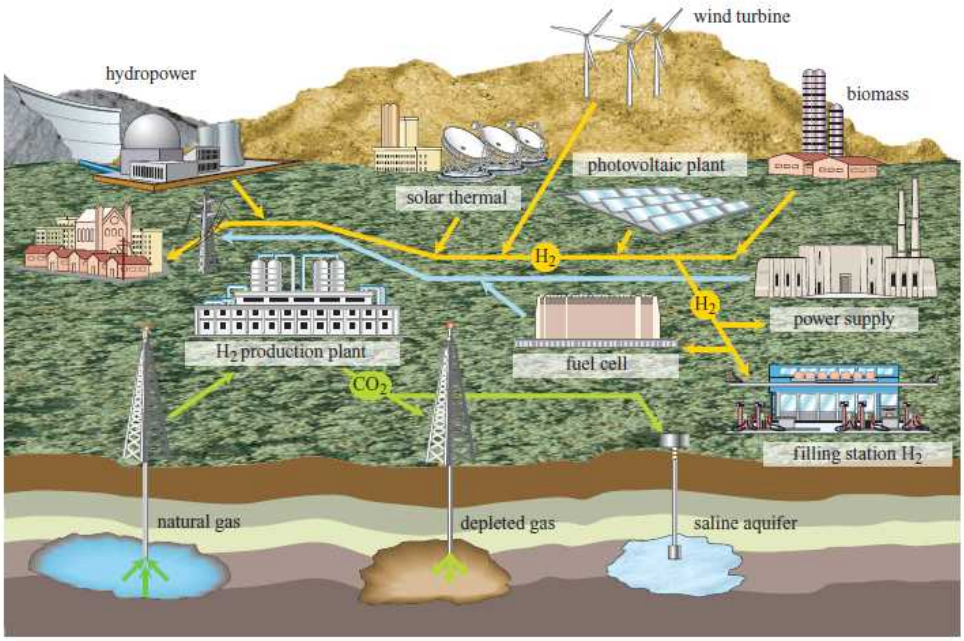


그림 1.2. 수소 경제에 대한 모식도 (Encyclopeaedia of Hydrocarbons, 319-335, 2005)

- (Jeremy Rifkin) 화석연료 기반 경제구조가 수소 중심으로 변화된 미래 경제로 정의하였으며, 에너지 혁명에 대한 5대 요소, 재생에너지전환, 재생에너지 생산 건물, 간헐성에 따른 수소저장, 에너지 공유네트워크, 수소연료전지 교통 등의 핵심으로 수소를 제시한 것임.
- (Stephen, A. Wells) 에너지 벡터, 교통 분야에서 화석연료의 역할을 수소가 대체한 경제이며, 화석연료에서 수소를 생산하는 체계를 "과도기적 수소 경제"로서 정의하여 구분
- (한국-융합연구정책센터) 에너지 자산 및 신재생에너지를 사용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급사슬 전체 영역에서 수소와 전기를 주요 에너지 유통 수단 (Carrier)으로 사용하는 사회 경제 체계로 정의

○ 에너지 경제 체계에서 수소는 에너지로서의 개념보다는 에너지 운반/저장을 위한 **"Carrier"로서 역할**이 강조

- (UNEP) 수소를 1차 에너지에서 전환되는 에너지의 한 형태로서 이해함. 즉 석탄, 석유, 천연가스 등의 1차 에너지에서 전환되는 2차 에너지로서 **전기와 같은 2차 에너지**로 해석

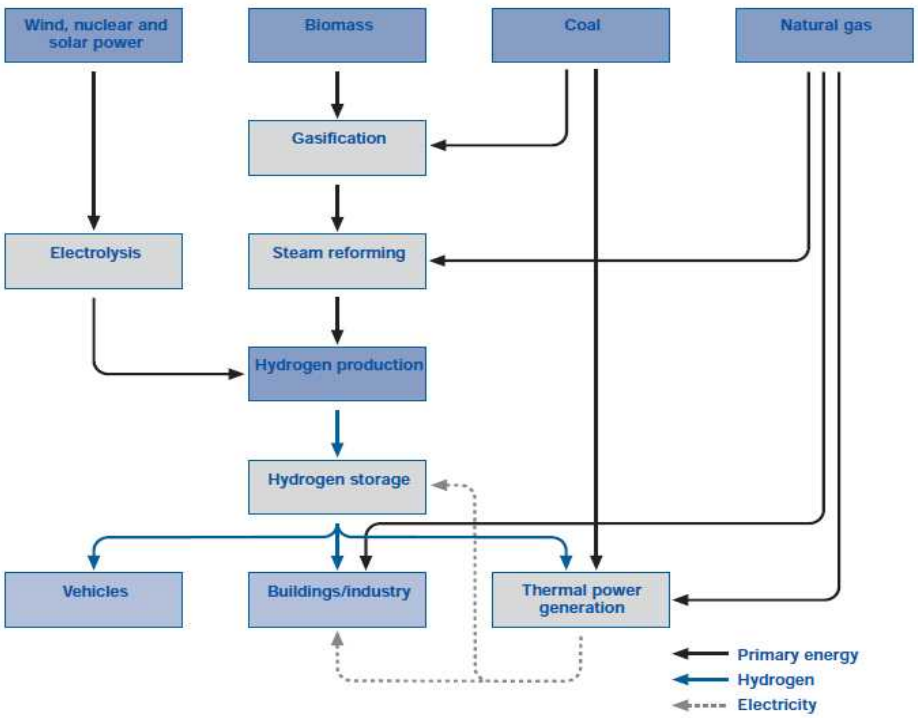


그림 1.3. 수소와 1차 에너지 간의 관계
(The Hydrogen Economy, A non-technical review, UNEP, 2006)

□ 수소 도시 (Hydrogen City)의 정의

○ 수소 도시로서 최초의 언급은 덴마크의 “H2PIA”개념으로, 시민 스스로 필요한 에너지를 수소의 형태로 생산하고, 저장 및 이송하여 활용하는 클린 도시의 개념임 (www.h2pia.com)

○ 일반적인 개념으로서 수소 도시의 정의는 아직까지 명확하게 제시된 적은 없으며, 덴마크, 일본, 네덜란드, 호주, 미국 등은 **“수소 교통”을 중심**으로 구성된 **도시로서의 비전**을 제시

- (덴마크) 풍력을 활용한 수소 생산 이후 파이프 라인을 통한 수소 공급과 연료전지 중심의 소규모의 공동체 (community) 구성
- (영국) 천연가스 추출수소를 천연가스 배관을 이용하여 도시 전체를 대상으로 수소공급 계획
- (네덜란드) 태양광을 활용한 수전해 수소 생산 이후 소금동굴내 저장
- (호주) 풍력을 활용한 수전해를 이용한 수소 생산 이후 수출 모델을 개발하였으며, 린데사를 통해 수소 도시 개념을 도입. 주로 수소 교통을 중심
- (일본) 부생수소를 파이프 라인으로 공급하는 키타큐슈 프로젝트가 대표적임. 일반적으로 수소 타운의 소규모 커뮤니티내 수소를 공급
- (미국) 캘리포니아 주를 중심으로 수소 교통을 핵심으로 계획하고 있으며, 주거보다는 수소 충전소 위주로 계획함

○ “도시내 에너지 공급 시스템을 전기와 수소만으로 구성하는 도시”라는 일반적인 개념에 더해서 그림 1.4에서 처럼“**수소 공급자와 수요자를 데이터 기반으로 연계한 미세먼지/CO_2 free의 국민복지 실현 도시**”로 규정

- (생산) 신재생에너지 기반으로 **수전해 기술**을 **기반**으로 **수소 생산**함으로써 CO_2 Free를 구현
  * 수소를 추출수소 등을 통해 공급하는 도시를 과도기적 수소 도시 (Transition Hydrogen City)로서 정의
- (공급) 도시내 **파이프라인을 기반**으로 **수소 공급 네트워크** 구축함으로써 도시내 공급자와 수요자간 **양방향 직접적인 연계**를 통한 의사소통 구조를 구현
- (활용) 도시내 **생활환경 시스템** 전반과 **교통 시스템**을 위주로 수소 에너지 공급 시스템을 구축

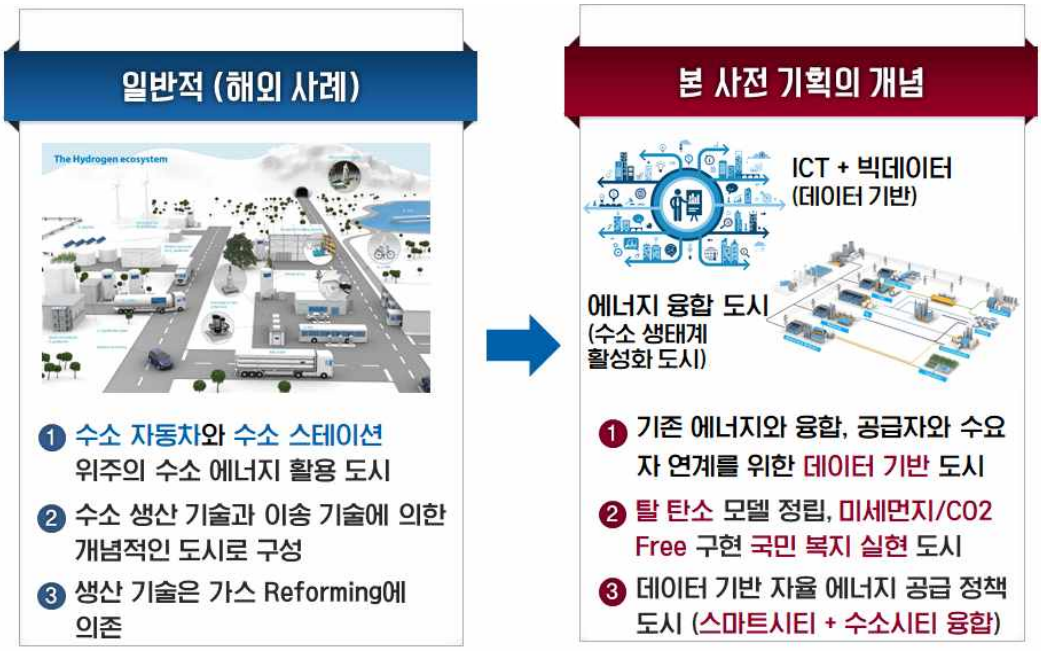


그림 1.4. 수소도시의 정의

3. 수소 도시 기반시설 및 수소 그리드 건설을 위한 기술의 범위

□ 수소 도시 구축을 위한 사전기획 내 수소 기반 시설의 범위

○ **(생산설비)** 수소를 생산할 수 있는 설비로 수소추출설비, 수전해 설비, 부생수소 생산설비 등을 포함

○ **(저장설비)** 도시 구성물 (주거, 빌딩) 등에 수소 공급을 위해 생산설비로부터 생산된 수소를 저장할 수 있는 설비로 수소압축 저장설비와 수소액화 저장설비 그리고 기타 LOHC, 금속수화물 저장설비 등을 포함

○ **(교통설비)** 도시내 공간과 공간을 이동할 수 있는 수소자동차 (수소차, 수소 버스, 수소 특수차량등 수소를 연료로 운행이 가능한 자동차)와 이를 보관할 수 있는 차고지 등을 포함

○ **(발전시설)** 최종 사용 에너지로서 전력을 생산할 수 있는 시설로 대형 수소 터빈 및 연료전지를 포함한 중앙 발전소와 개인용 수소 연료전지를 포함

* 수소생산 설비와 연계를 위한 신재생에너지 (태양광과 풍력)은 반드시 필요한 설비이나 본 사전 기획에서는 이를 고려하지 않음

□ 수소 도시 구성을 위한 사전기획 내 그리드 시설의 범위

○ **(에너지 공급)** 수소 발전시설에서 생산된 전력 혹은 수소를 이송하기 위한 수단으로, 파이프라인, 수소이송 교통수단 그리고 전력선 등을 포함

○ **(교통 시스템)** 도시내 공간을 이동할 수 있는 수단으로서 수소 자동차가 운행할 수 있도록 수소 등을 충전할 수 있는 수소 충전소

□ 수소 도시 및 그리드 구축을 위한 기술개발의 범위

○ **(생산설비기술)** 수소 생산설비 시스템의 국산화 및 효율화 기술로 크게 천연가스로부터 수소 추출 시스템과 수전해 설비의 효율화 및 국산화 기술로 구분

- 수소추출 시스템: 대형화/대용량 생산을 위한 시스템 설계/제작 기술, 발생 탄소 저감 및 포집 공정과의 패키지 시스템화 기술, 부품/소재의 국산화 기술
- 수전해 설비: 대형화/대용량 설비 설계/제작 기술 (PEM, AE), 효율증대를 위한 시스템 기술, 부품/소재 국산화 기술, 신재생에너지와의 연계를 위한 인터페이스 기술, 수전해 시스템 모듈화 기술

(a) (b)

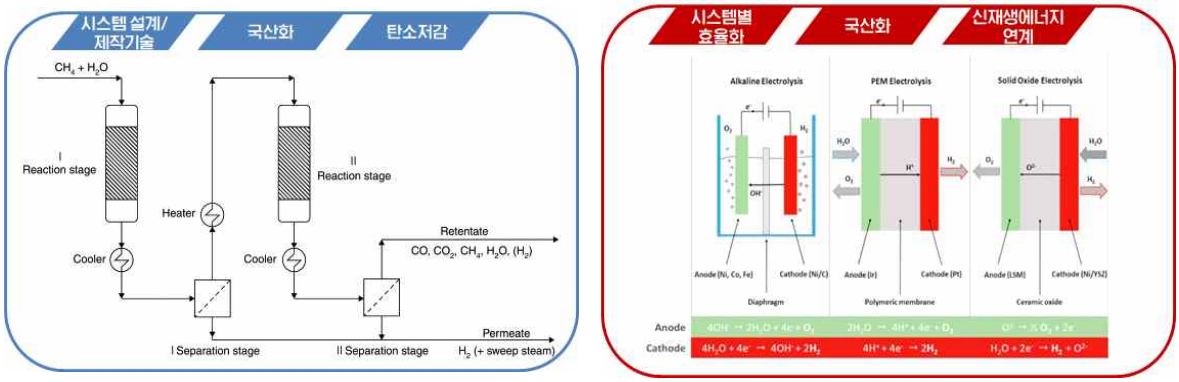


그림 1.5. 대표적 생산설비의 기술개발의 범위 (a: 수소추출 시스템, b: 수전해 설비)

○ **(저장설비 기술)** 생산된 수소를 활용하기 위해 장시간 저장하거나 혹은 운송을 위해 저장할 수 있는 설비로서 대용량 압축기술, 고압수소저장기술, 수소 액화기술, 액화수소저장 및 이송기술, LOHC 전환 및 수소화기술, 금속수소화물 수소 흡방출 기술, 금속수화물 대형화 및 시스템 효율화 기술, 암모니아 전환 및 수소 추출 기술, 각 기술별 안전 기술

- 대용량 수소 기체 압축 기술: 고효율 압축 시스템 설계 및 제작 기술, 부품 소재 국산화 기술
- 고압 수소 저장 기술: 고압 기체 지중/수중 저장 기술, 대용량 저장 탱크 저장 기술, 저장 용량 모니터링 기술
- 수소액화 기술: 고효율 액화 수소 제조 기술, 대용량 수소액화설비 설계 및 제조 기술, 수소액화 플랜트 부품 국산화 기술, LNG 냉열이용기술
- 액화 수소 저장 및 이송기술: BOG가스 최소화 기술, BOG 가스 활용기술, 액화 수소 저장 탱크 국산화 기술, 액화 수소 주입 장치 국산화 기술, 이송트럭 국산화 기술
- 금속수소화물 수소 흡방출 기술: 금속수소화물 수소저장 향상기술, 흡방출 고효율화 시스템 기술, 수소 저장량 측정 기술, 연료전지-금속수소화물 연계 열효율 향상기술, 금속수소화물 열전달 향상기술
- 암모니아 전환 및 수소 추출 기술: 고효율 암모니아 제조 기술, 암모니아 누출 방지 시스템 기술, 고효율 암모니아 수소추출 공정 기술, 잔류 암모니아 제거 기술

(a) (b)

그림 1.6. 대표적 저장설비의 기술개발의 범위 (a: 수소압축 저장기술, b: 액화기술)

○ **(교통설비기술)** 수소자동차 내 연료전지 시스템 기술 (특수차량 포함) 및 연료전지 스택의 국산화 기술

- 버스 등 특수 차량 전용 스택 제조기술, 특수 차량용 기체수소 저장 기술, 액-고압수소기체 하이드리드 저장기술, 고속 수소 충전기술, 대형차량 전용 수소부품 국산화 기술, 연료전지 스택 내구성 향상 기술

*** 실질적인 자동차의 개발 분야는 산업부와 중복성이 있으므로 특수차량 등에 한정**

○ **(발전시설)** 중앙 집중형 연료전지 발전시스템 내 전력 및 열 순환기술

- 연료전지 부하 추종기술, 열 저장 및 기존 열 시스템 융합기술, 고효율 전력 변환기술, 스타트업 시간 감소를 위한 시스템 설계 기술

  * 개별 요소 기술은 산업부의 개발기술을 활용

○ **(에너지 공급)** 수소 발전설비 혹은 수소 생산설비와 도시까지 파이프라인 설계 및 운영 기술, 천연가스 혼합 공급 시스템 기술

- 파이프 라인 설계 및 운영기술: 수소 가스 승압기술, 내취성 파이프라인 제조기술, 수소 배관 모니터링 기술, 수소배관 부식 방지 기술, 고 정밀 수소 유량 측정 기술
- 천연가스 혼합 공급 시스템 기술: 천연가스-수소 혼합기술, 수소-천연가스 분석기술

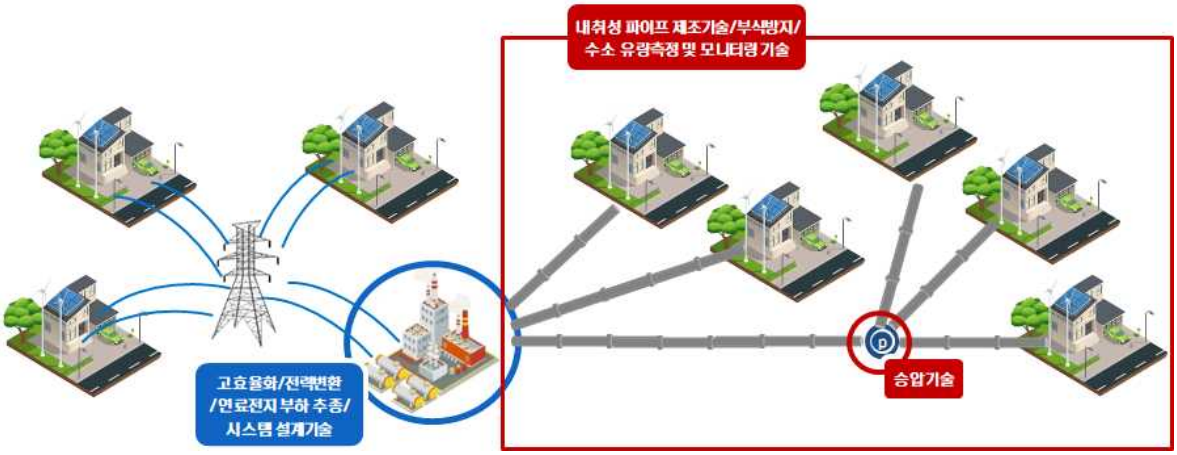


그림 1.7. 수소발전 및 에너지 공급 시스템 기술개발 범위

○ **(교통 시스템)** 차고지내 규모별 수소 충전소 시스템 기술 (메가, 중형, 소형)

- 차고지내 수소 충전소 시스템 기술: 수소버스 전용 차고지 설계기술, 대형 수소 생산시설 건설 및 운용 기술, 버스용 수소 충전 시스템 설계 기술, 충전시설 모니터링 기술

○ **(IT 기술)** 스마트 미터링 기술 (화석기반 에너지와 수소에너지 개별 모니터링), 블록체인 기술 (E-Coin save 소프트웨어 연계), 수소 사회 구축을 위한 big data 구축 및 활용기술

(a)

(b)

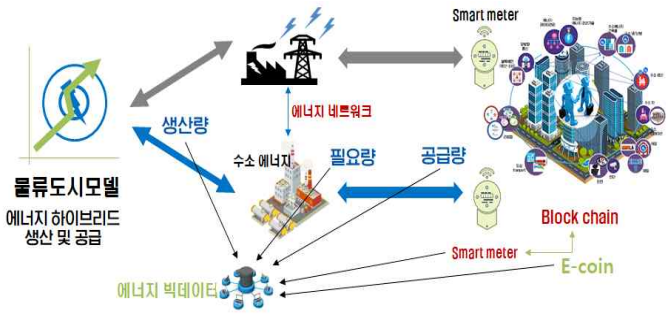


그림 1.8. 수소 버스 차고지 및 IT 기술 범위 (a: 차고지 충전소기술, b: IT 기술)

□ 최종 수소 도시의 비전 및 추진 전략

○ **(수소도시)** 도시내 주민의 경제적, 사회적 활동을 위한 단위인 주거와 건물 그리고 공간적 연계을 위한 교통 등을 활용할 수 있는 에너지로서 수소를 이용하는 도시

– (수소도시 비전) 수소 경제를 활성화 시킬 수 있는 사회적, 경제적 활동 기반이 수소에너지에 의해 구성되는 도시

· 사회적/경제적 활동의 부산물로서 도시내 미세먼지/CO_2 등의 발생이 최소화

· 건강한 야외 활동이 활기찬 건강한 도시로서 상시 창문을 열수 있는 실내와 실외의 경계선이 없는 도시

– (수소도시 구성) 수소를 활용하는 주거설비, 빌딩, 여가시설, 교통시설 그리고 도시 특성별 수소 활용시설 등으로 도시가 구성되며, 수소 생산 및 발전설비와 공급설비 등이 외적으로 별도 설비로 구성

○ **(수소 도시 추진 전략)** 현재 수소도시 구성은 이를 위한 기술적 완성도 부족으로 단기간 완성은 어려움이 있으며, 최소한의 단위를 구분하여 단계별로 구성하는 전략추진

그림 1.9. 수소 도시내 외부 수소 발전 (안)

- (수소도시 구성 최소단위) 주거, 교통, 빌딩 등의 도시내 구성단위로서의 최소 커뮤니티를 구분
  · (기본설비) 도시내 주민의 활동지역으로 사회적 활동을 위한 주거와 여가설비, 경제적 활동을 위한 빌딩설비, 각 커뮤니티연계를 위한 교통설비 등으로 구분
  · (도시 특성화 설비) 도시 특성에 따른 경제 활동을 위한 설비로서 축산/농가, 어업, 물류, 산업, 발전 설비 등으로 구분
- (1단계) 각 커뮤니티 단위의 기술 검증을 통한 도시 구성을 위한 최소한의 설비 구성에 대한 기술적/경제적 실증설비 구축
- (2단계) 커뮤니티 단위에 수소 공급을 위한 대형 수소 생산을 위한 도시와 각 도시별 공급이 가능한 물류 중심 도시를 구축
- (3단계) 각 도시간 연계를 통한 수소 경제 활성화 전략 구성

제 2절 사전 기획 추진의 필요성

1. 사전기획 추진 배경 및 필요성

□ 사전 기획 추진 배경

○ 세계 기후 변화 및 지구 온난화

- 1880년 이후 현재까지 세계 지표 및 해수면 평균 온도는 **꾸준히 상승**
- 지표면 및 해수면의 평균 온도 상승과 더불어 최근에는 전 세계적으로 이상고온 현상이 나타나고 있고 그로 인한 **기상 재난 현상**도 빈번하게 발생
- 이러한 경향을 비추어 봤을 때, 지구온난화로 인한 세계 기후 변화가 점차 심해지고 있고 이에 대한 대책 마련이 시급

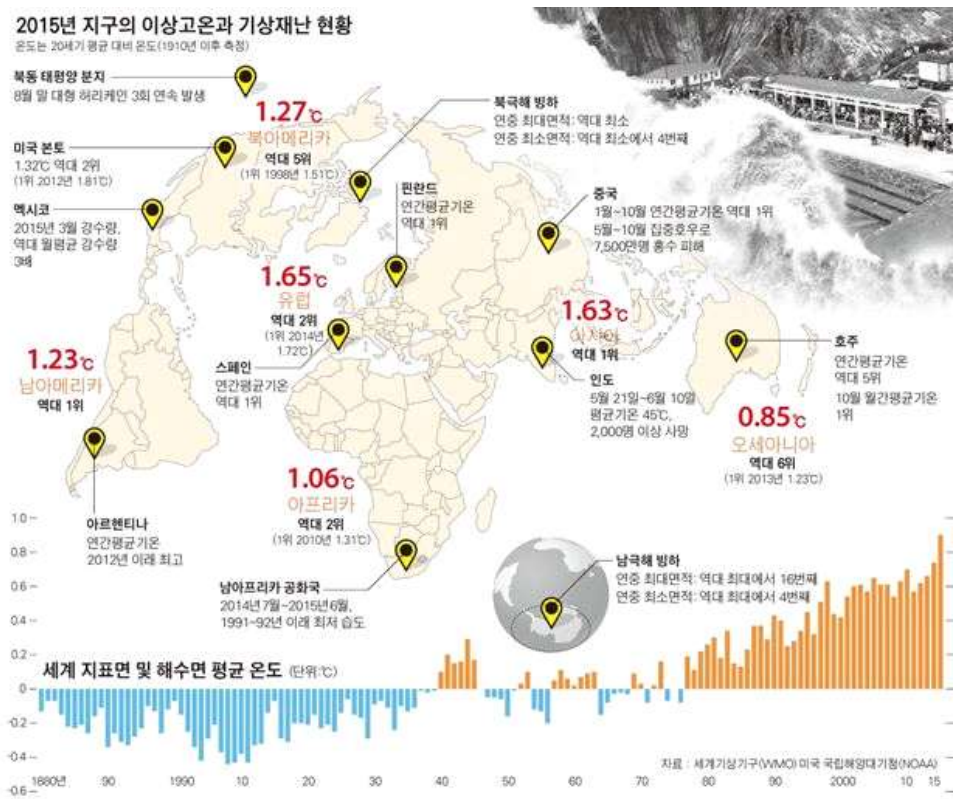


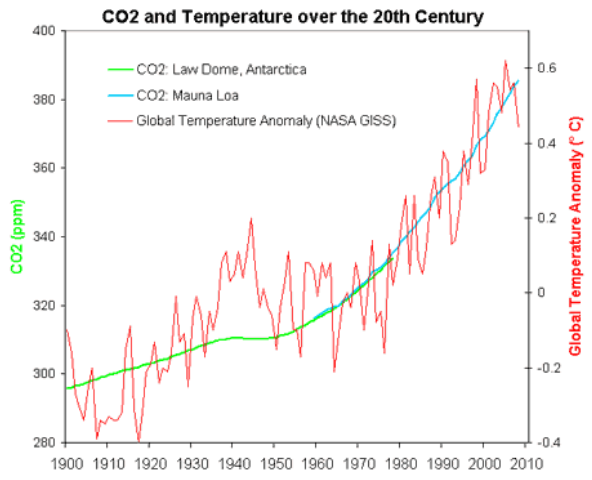
그림 1.10. 세계 평균 온도의 변화 (세계 기상기구 미국 국립해양대기청)

○ 지구 온난화와 자연재해

- 산업 혁명이후 이산화 탄소가 지속적으로 발생하였으며, 이러한 현상은 1900년 이후 가속화 되었음. 그림 1.11(a)에서 볼수 있는 것처럼 1950년 이후 급격한 CO_2 발생량 증가의 추이가 나타나고 있으며, 이와 함께 **1961-1990년을 기준점**으로 하였을 때 **지구상의 평균 온도는 약 0.6 ℃이상 급격하게 증가**하고 있는 상황으로 조사됨 (`17년 기준 0.8 ℃까지 증가)
- 그림 1.11(b)에서처럼, CO_2 발생량의 증가와 자연재해 발생량은 유사한 추세를 보여주고 있으며, 1960년 즉 CO_2 발생량이 급격하게 증가함에 따라 지구상 평균 온도와 자연재해가 급격하게 증가함

  *** 자연재해 발생 빈도 : 1962년 28건 → 2005년 432건**
- 따라서 **CO_2 증가**가 기후 변화에 따른 **자연재해 발생에 대한 직접적인 원인**으로 분석될 수 있음.

(a)



(b)

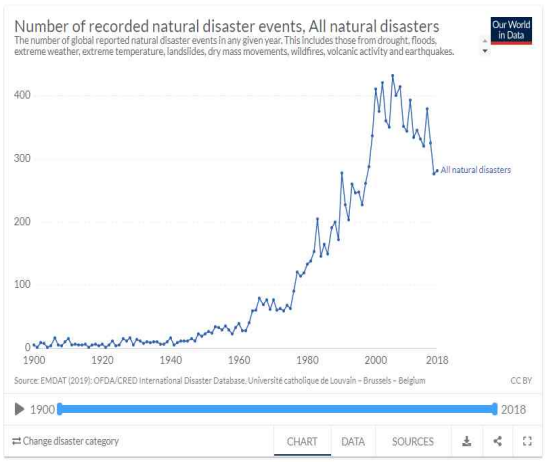


그림 1.11. CO2, 기온 그리고 자연재해 발생빈도간 관계
(a: CO2와 온도의 관계, https://skepticalscience.com, b: 자연재해 발생빈도, https://ourworldindata.org)

○ CO_2 발생원은 연료의 사용에 의한 것이며, 2012년 기준으로 석탄 등의 고형 연료에서 149.8 억톤, 석유에서 117.9 억톤, 가스에서 65.5 억톤이 발생된 것으로 조사됨. (http://cdiac.ornl.gov/CO2_Emission/)

- 고형연료에서 발생된 CO_2의 양이 많은 것은 1,900년부터 시작된 화력발전소에 의한 것임

- 따라서 지구 온난화 방지를 위해서는 화석연료 사용을 줄이는 것이 첫 번째 대안이 될 수 있음

○ CO_2의 감축을 위한 세계의 정책적 방향성

- 지구온난화를 극복하기 위해 세계 각국에서 기후변화대응 전략을 구축하기 시작하였고 기후변화에 관한 **유엔 기본 협약** (UNFCCC: United Nation Framework Convention on Climate Change)이 **1992년 리우데자네이루에서 열리면서 본격적으로 진행**
- 주요 내용은 선진국들에 의한 **이산화탄소를 비롯한 각종 온실 가스**들의 방출 제한 및 지구온난화 방지
- 1995년 3월 베를린에서의 당사국총회(COP1: Conferences of the Parties 1), 96년 7월 제네바에서 제2차 당사국총회(COP2)를 거쳐, **97년 12월 교토**에서 제3차 당사국총회(COP3)를 통해 2000년 이후 선진국의 **온실 가스 감축 목표를 주요 내용**으로 하는 교토의정서가 채택

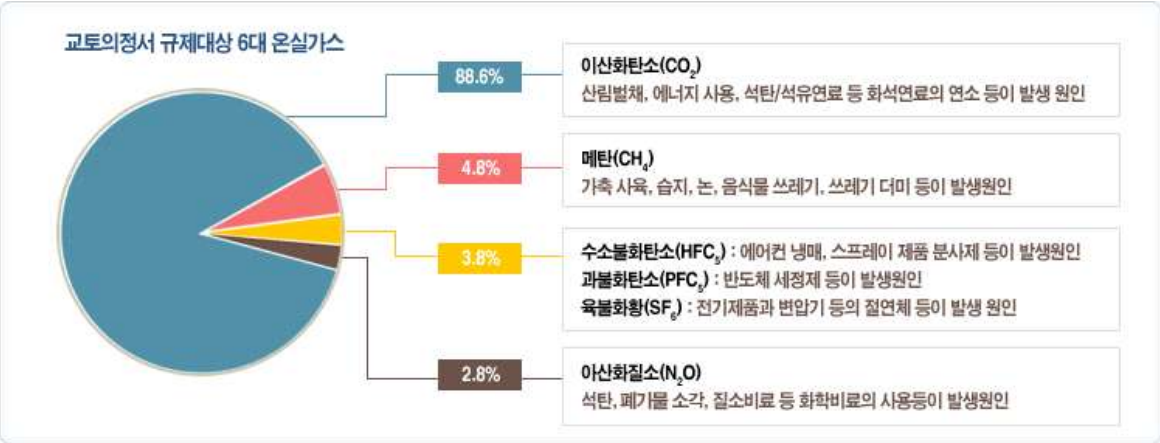


그림 1.12. 교토의정서 온실가스 감축 목표에 대한 요약 (국토환경정보 센터)

- 교토의정서에서 규정된 6대 온실가스는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6), 아산화질소(N_2O)이며, 이 중 **이산화탄소는** 전체 온실가스 지분의 **88.6%**를 차지하기 때문에 **제1 감축 목표**
- 교토의정서 발효 이후 온실가스 규제에 대한 각국의 노력이 수반되었으나 지구온난화를 막기에는 역부족이라는 전 세계적인 공감대가 형성되었고 **2015년 12월 파리**에서 제21차 당사국회의(COP21)이 개최되면서 **파리 협정**이 체결

표 1.1. 교토의정서와 파리 협정의 비교 (서울 신문)

	교토 의정서	파리 협정
개최국	– 일본 교토 – 제3차 당사국 총회 (COP3)	– 프랑스 파리 – 제21차 유엔 기후변화협약 당사국 총회 (COP21)
채택	– 1997년 12월 채택, – 2005년 발효	– 2015년 12월12일 채택 – 55개국 이상 비준 및 세계 온실가스 배출량 55% 해당 국가 비준시 발표
대상국 수	– 주요 선진국 37개국	– 196개 협약 당사국
적용시기	– `20년까지 기후변화 대응 방식 규정	– `20년 이후 `신 기후 체제
목표 및 주요내용	– 기후변화의 주범인 주요 온실가스 정의 – 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축 – 온실가스 감축 목표치 차별적 부여 (선진국만 해당) – 미국의 비준 거부, 캐나다의 탈퇴, 일본 러시아의 기간연장 불참 등의 한계	– 평균온도의 상승폭을 산업화 이전과 비교 2℃이하로 제한 (1.5℃까지 노력) – 선진국은 `20년부터 개도국 기후변화 대처사업에 년 1000억달러 이상 지원 – 협정에 구속력을 부여하였으며, `23년부터 5년마다 탄소 감축 약속 이행 여부 확인 – `50년 이후 탄소 중립 추구
한국	– 감축 의무 없음	– `30년 배출전망치 대비 37% 감축 목표

- 파리 협정에서는 **지구 평균온도 상승 폭**을 **산업화 이전 대비 2℃ 이하로 유지**해야 하며, 더 나아가서 온도 상승 폭을 1.5°C 이하로 유지하기 위한 노력을 각 당사국이 수행하겠다는 내용을 포함
- 이는 교토의정서 대비 구체적인 온도 목표가 설정되었기 때문에 온실가스 감축 필요성이 **더욱 명확해지고 구체화하였음을 의미**
- 지구온도 상승을 2℃ 이내로 제한하기 위해서는 2012년 이후 세계 누적 온실가스 배출량은 1,000 $GtCO_2$, 연간 배출량은 2030년에 42 $GtCO_2$ 수준에서 제한되어야 한다고 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 5차 평가보고서에 언급
- 119개 국가(28개 EU 회원국을 고려할 경우 총 146개국)가 제시한 2030년까지의 온실가스 감축 목표량은 **2012년 세계 온실가스 배출량의 85~88% 수준**에 달하기 때문에 향후 기술 발전에서 온실가스 배출량이 없거나 저감할 수 있는 **새로운 기술의 발굴 필요**
- 대한민국에서도 파리 협정을 위해 2030년까지 2030년 배출전망치 (850.6 $MtCO_2$) 대비 37%의 CO_2를 저감하겠다는 목표를 제출했으므로 기존의 온실가스를 배출하는 화석에너지에서 벗어나 **새로운 CO_2 free 에너지원의 발굴이 시급**

○ 선진국의 CO_2의 감축 목표

- 2015년 10월 1일까지 UNFCCC 사무국에 제출된 주요 당사국들의 자발적 기여 보고서에 따르면, 각 국가가 각자의 상황에 따라 온실가스 감축 목표 및 기준 연도, 조건등을 다르게 제시하였음. 그럼에도 불구하고 표 1.2에 나타난 것과 같이 **주요 당사국은 명확한 온실가스 감축 목표를 제시하였음.** (세계 에너지 현안 인사이트 제16-3호 3~4p 참조)

표 1.2. 세계 주요 에너지소비국의 자발적 기여 방안 (INDC)

국가	무조건부 목표 (CO_2 배출량)	조건부 목표 (CO_2 배출량)	목표년	기준년	배출권 이용
중국	60~65 %/GDP	-	`30	`05	
미국	26~28 %	-	`25	`05	
인도	-	33~35 %/GDP	`30	`05	
러시아	-	25~30 %	`30	1990	
일본	26 %	-	`30	`13	Y
독일	40 %	-	`30	1990	
브라질	43 %	-	`30	`05	Y
캐나다	30 %	-	`30	`05	Y
한국	37 %	-	`30	BAU	Y
프랑스	40 %	-	`30	1990	
이란	4 %	12 %	`30	BAU	Y
인도네시아	29 %	41 %	`30	BAU	조건부 목표에 적용
사우디	연간 130만톤 감축	-	`30	-	-
멕시코	22 %	36 %	`30	BAU	조건부 목표에 적용
영국	40 %	-	`30	1990	-

(세계 에너지 현안 인사이트 제16-3호 4p)

- 파리 협정의 1.5°C 이내 온도 상승 목표를 달성하기 위해서는 연간 온실가스 배출량이 2030년 39 $GtCO_2$, 2050년 9 $GtCO_2$, 그리고 2070년 경 무배출(Zero)이 요구(UNEP: United Nation Environment Program, 2016년)

- 따라서, 파리 협정의 장기적인 목표를 달성하기 위해서는 2030년 온실가스 감축 목표 이외에 연간 15~17 $GtCO_2$를 추가로 감축해야하며, 이는 **감축 목표를 27~30% 강화**해야 한다는 것을 의미(세계 에너지시장 인사이트 제17-12호, 2017년)
- 감축 목표를 강화하기 위해서는 각 선진국·개도국의 감축 행동의 강화가 필요한 상황이며, 이를 위한 **각국의 전략 마련**이 시급

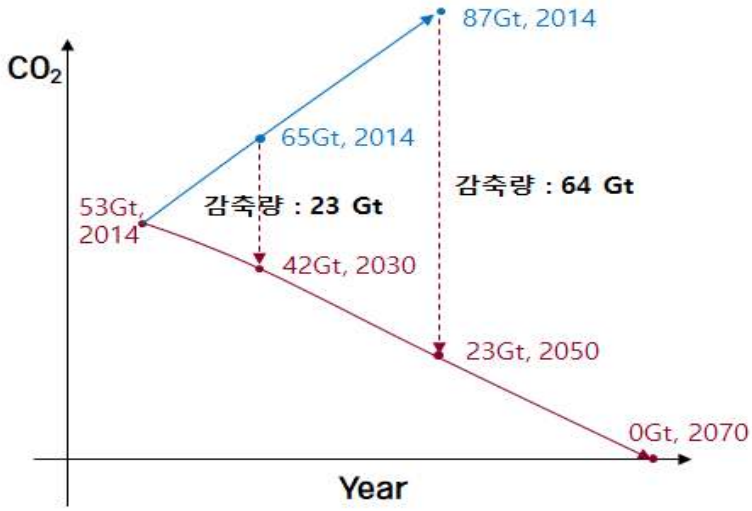


그림 1.13. 세계 년도별 CO_2 감축 목표량

□ 사전 기획 추진 필요성

○ 선진국의 CO_2 저감을 위한 실질적 대안은 신재생에너지 도입으로 초점

- IEA (International Energy Agency)의 보고서에 따르면, CO_2 감축 요구량 이외에도 연료연소 부문에서 추가로 연간 4.8 $GtCO_2$의 온실가스 감축이 가능하며 이는 크게 두 가지의 전략 1) 에너지 효율 개선과 2) 신재생에너지에 의해 이루어질 것으로 전망

· 2000년 이후 풍력위주의 신재생에너지 사용량 증대되고 있음
· 태양광 에너지는 비교적 최근에 점차 사용량이 확대되고 있는 상황임

- 국내는 2018년 기준 최종 에너지 소비 면에서 신재생에너지가 약 6% 내외임

· 2030년 재생에너지 발전량 비중 20% 증대의 목표를 달성하기 위해 다양한 신재생에너지 발전 단지를 건립 (새만금 태양광 및 풍력 에너지 단지 등)

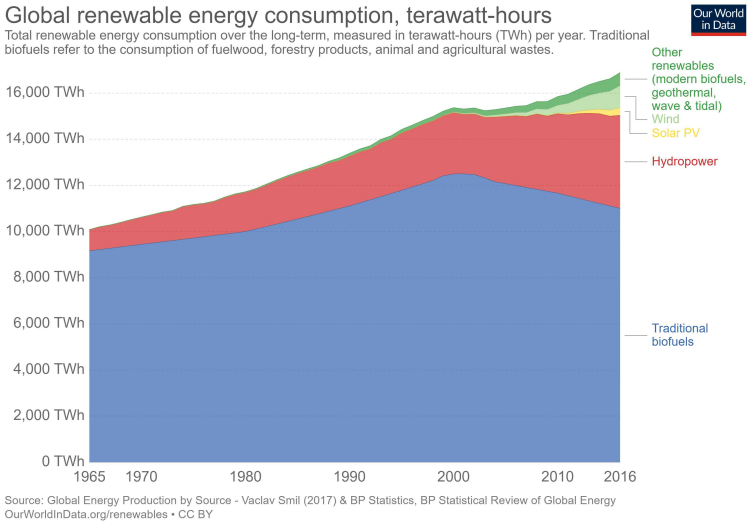


그림 1.14. `16년 기준 세계 신재생에너지 전력 소모량 (https://ourworldindata.org)

○ 신재생 에너지 활용을 위한 기술적 검토가 시급

- 국내외적 신재생에너지의 활용이 일반적으로 태양광과 풍력으로 귀결되고 있으나 태생적으로 활용을 위해 극복해야하는 점이 존재
- (태양광) 낮에만 발전이 가능하며, 계절별 발전량이 변화되기 때문에 안정성면에서 부족한 실정
- (풍력) 낮과 밤의 구별없이 발전이 가능하나, 바람의 세기 변화에 따른 발전량 변화에 따라 안정성 면에서 부족
- (기술적 검토) 발전량 불안정성으로 인한 신재생에너지의 활용 대안을 검토해야 함. 즉 전력생산이 가능한 시간 내에 필요 전력량 대비 과다 용량의 발전이 필요하므로 과다 용량에 대한 전력 가용성에 대한 검토가 필요함

○ 신재생에너지 활용을 위한 검토 내용

- (전략) 그림 1.15에서와 같이 잉여 전력에 대한 총 3가지 대안, 폐기, 판매, 저장 등의 수단이 있으나, 폐기는 검토대상이 아님
- (판매) 대표적인 전략으로 그리드와 맞물려 기존 전력과 혼합하여 사용하며, 국내 대부분의 신재생에너지 발전 단지의 전략적 방향성임
- (저장) 새로운 신전략으로 발전된 전력을 에너지 저장 시스템 (Energy Storage System, ESS) 혹은 수소로 변형 저장에 대한 양방향 전략이 있음

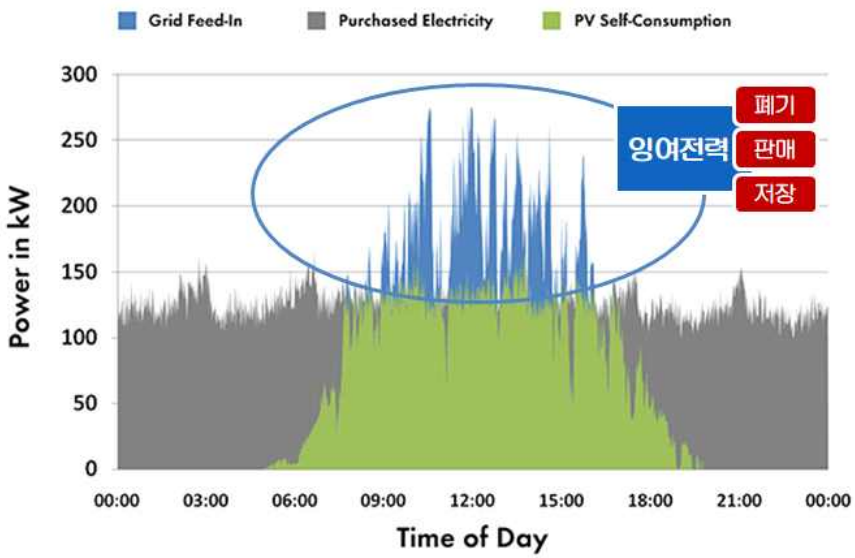


그림 1.15. 태양광 활용 전력과 필요전력간의 상관관계 및 잉여전력 활용 방안

○ 수소에너지 연구의 필요성

- (수소의 역할) 에너지 carrier로서의 활용. 즉 잉여전력을 수소로 변형함으로써 운송의 용이성을 확보 (기체, 액체, 고체 등의 방법으로 다양한 운송이 가능)

*** 호주, 유럽 등의 로드맵내 수소의 역할 중 가장 강조되는 것은 에너지 carrier로서의 역할임**

- 수소와 신재생에너지 조합은 신재생에너지 저장 방식에 있어 전략의 핵심이므로 수소 경제 활성화를 위해 반드시 연구가 되어야 하는 핵심 기술임

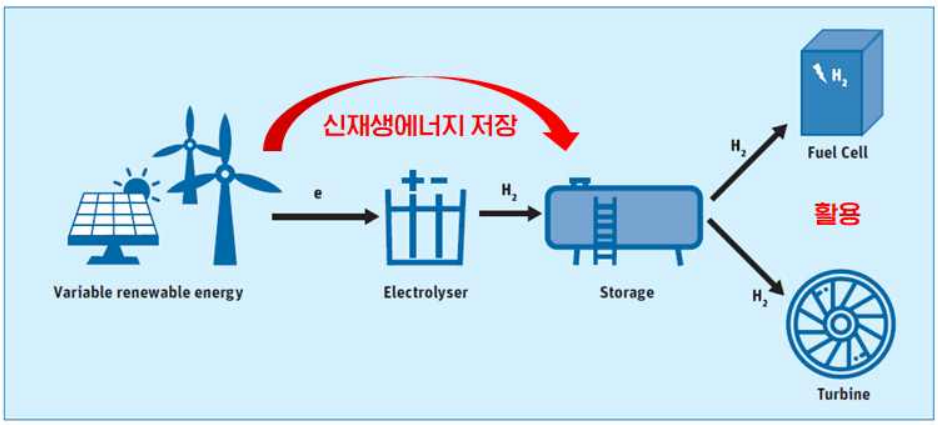


그림 1.16. 호주 수소 로드맵내 수소 활용 전략
(National Hydrogen Roadmap, 2018, www.csiro.au)

- 특히 신재생에너지에서 발생된 전기 자체를 수출/수입 혹은 이송하는 것에는 제한이 있을 수 밖에 없으므로 (ESS가 급격한 발전이 없다면) 수소로 전환 후 이송하는 것은 향후 지속적인 신재생에너지 활용 증가를 위해 필연적일 수 밖에 없음
- 신재생에너지로부터 전환된 수소는 발전과 교통 분야에 직접 적용이 가능하기 때문에 미국, 유럽, 일본 등을 중심으로 지속적으로 연구가 진행되고 있음
- 그러나 실질적인 활용이 연료전지를 활용한 수소자동차 특히 자가용에 집중되고 있어 다양한 분야에서 활용에 대한 기술의 완성도에 대한 의문이 있음
- 추가적으로 각 기술 개발의 초점이 생산, 저장, 이송, 연료전지 등에 초점이 맞추어져 있어, 통합적인 시스템 구성면에서 실증이 부족한 상황임
- 수소 생산, 저장, 이송기술은 하나의 시스템내에서 평가되어야함에도 불구하고, 개별 연구가 진행되어 수소 경제 활성화를 위한 경제성 평가 지표 개발도 이루어지지 못한 상황임.
- 미국 수소 충전소 중심의 수소 생산부터 활용까지의 전주기적 경제성 평가시스템 혹은 수소 관련 다국적 기업의 사업모델에 의존한 간접적 지표에 의해 짐작하는 수준임
- 최종적으로 수소를 활용하기 위한 전체 아웃라인으로서 수소 인프라에 대한 구체성 부족으로 인하여 수소 경제 활성화를 위한 밑그림이 부족한 상황임
- 따라서 수소 경제 활성화를 위해서는 수소의 활용에 대한 인프라와 수소 활용 도시에 대한 모델 개발은 반드시 필요한 분야임

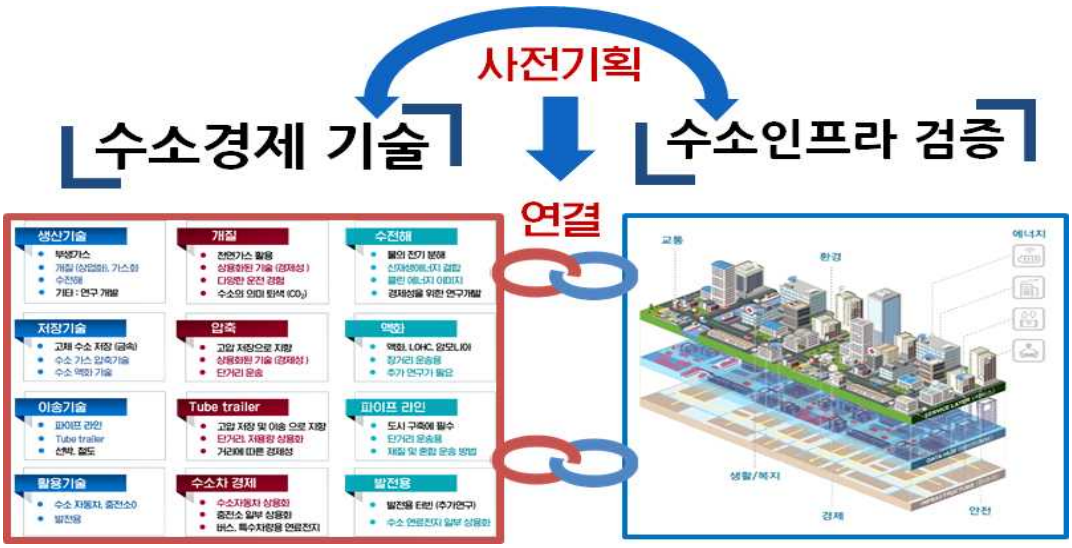


그림 1.17. 수소 인프라 사전 기획의 역할

□ 국가 차원의 에너지 안보전략 추진이 필요함

○ 국내 에너지정책은 화석연료에 대한 의존도가 절대적인 비중을 차지함

- `18년 기준 신재생에너지 비중은 약 5%였으며, 원자력이 약 10% 내외 그리고 나머지 화석에너지 비율이 약 85%의 절대적인 비중을 차지함

*** 2018 신재생에너지 백서**

- 따라서 중동지역의 정세에 따라 국내 에너지 정책과 경제 분야가 변화될 수 밖에 없는 취약한 구조를 가지고 있으며, 따라서 정부는 `14년 이후 에너지 신산업 육성에 초점을 맞추어 다양한 정책 수립을 하고자 시도함

○ 국내 기후적인 특성상 전체 발전량 분야에서 신재생에너지가 차지하는 비율은 낮을 수 밖에 없으며, 원자력 발전에 대한 사회적 합의가 되지 않은 상황에서, 다양한 에너지 수급 루트를 개척하는 것은 국가 안보 전략차원에서 중요한 일임

- 에너지 수급 루트는 중동지역을 중심으로 하는 화석연료 수입과 동남아에서 수입하는 천연가스 그리고 호주의 유연탄 수급과 국내 원자력 등으로 크게 구분

*** 2018, KEEI 에너지 수급 브리프**

- 수소는 신재생에너지로부터 수급이 가능한 것으로 현 1차 에너지 수입정책에서 신에너지 수입정책으로 변화할 수 있는 key word가 될 수 있음. 또한 실질적인 에너지 다변화 정책을 안착시킬 수 있는 방향성이 될 잠재성이 농후함

- 1차 에너지에 비해 수소 수입을 위해서는 기술적 효율성이 내재되어야 하기때문에 단지 수입에 대해서만 고려할 것이 아닌 자원발굴의 차원에서 접근해야할 필요성이 있음

2. 사전기획 추진의 시급성

□ 신재생에너지 정책적 도입에 따른 보완으로서 수소 활용방안의 시급성

○ 한국의 CO_2 저감량 및 신재생 에너지 도입 현황

- 교토 의정성에 따른 한국의 CO_2 저감목표는 현재 `30년 배출예상량의 37%를 감축이며, 이는 표 1.3에 있는 것처럼 851 백만톤의 37%를 저감해야하는 상황임

*** 최종 확정 배출량 : 536 백만톤**

- 한국의 신재생에너지 발전량은 `17년 기준 15.7 GW이며, `22년 새만금 태양광 발전 4GW 와 `26년 풍력 1 GW가 완공될 예정

○ 한국에서 신재생 에너지 도입의 전망 및 파리협정 목표 달성 가능성

- (신재생에너지 도입 목표) 2030년을 목표로 신재생에너지 발전량 비중을 20%까지 증가
- `30년 기준으로 태양광 36.5 GW, 풍력 17.7 GW, 수소 연료전지 15.0 GW, 폐기물 3.8 GW, 바이오메스 3.3 GW로 확대

표 1.3. 한국의 온실가스 배출 전망

구분 (백만톤)	2013	2020	2025	2030	연평균 증가율 (%)	
					`13~`20	`13~`30
에너지 부분	592	678	700	739	1.94	1.32
비에너지 부분	88	105	109	112	2.59	1.43
총계	680	783	809	851	2.03	1.33

2030 국가-온실가스 감축로드맵 수정안 설명자료

- (파리협정 목표 달성) 국내 온실가스 저감을 위한 로드맵으로 2030 국가 온실가스 감축 로드맵을 `18년 발표하였으며, 전략적 감축 목표를 산업, 건물, 수소, 폐기물 등으로 구분하여 제시함
- 온실가스 감축 로드맵내 감축수단은 인프라 개선, 효율화 등으로 초점이 맞추어져 있으며, 신재생에너지의 비중은 20%까지 확대하는 것으로 요약되어 있지만 발전분야의 온실가스 저감은 효율강화와 천연가스 발전이 주요 타겟임. 이에 비해 수송 분야는 전기자동차와 수소자동차 그리고 하이브리드 차량 보급에 초점이 맞추어짐

  *** 장기적인 관점에서 IRENA는 `50년까지 신재생에너지 비중이 65%까지 증가해야 하는 것으로 요약**

- 신재생에너지 비중 증대에 따른 효율화를 위한 기술 수립은 시급하나, 현단계에서 신재생에너지 생산이후 기존 전력 그리드에 포함하여 사용하는 전략을 고수
- 이러한 전략상 가장 큰 문제는 신재생에너지의 특성상 기존 발전설비 가동을 중지할 수 없다는 것이므로 지속적으로 증가하는 신재생에너지 활용의 효율화를 위해서는 수소전환 저장 등을 통한 상시 활용이 가능한 전략적 기술 개발은 매우 시급한 실정임

□ 수소 활용을 위한 국내 수소 기술개발 및 활용 전략의 시급성

○ 한국의 수소 기술 및 수소 도시 모델 개발의 시급성

- 현재 국가차원에서 확보하고 있는 수소 분야의 기술은 자동차 분야와 연료전지 분야로 세계적인 경쟁력을 가지고 있는데 비해서, 생산, 저장, 이송 등의 분야는 국산 상용화 기술이 전무한 실정임

- 이를 극복하기 위해 각 부처에서 다양한 R&D를 통한 기술개발이 이루어지고 있지만, 수소 충전소를 중심으로 하는 수소 교통산업을 제외한 산업생태계 전반을 아우를 수 있는 비전과 수소 사회 전략적 방향성을 제시하고 있지는 못하고 있음

*** 수소 분야 R&D는 산업부 주도로 이루어졌으며 `16년 이후 연간 약 100억 내외의 연구비, 미래부는 `15년-`25년까지 연간 약 70억 내외의 핵심 원천기술개발에 투자예정**

- 따라서 수소 경제를 활성화 시키기 위해서는 각 개별적으로 연구되고 있는 전 기술분야를 통합하는 사회적인 모델 제시가 필요하며, 이를 통한 수소 산업 전반을 향상시킬 수 있는 정책적 방향성을 추진해야 함

- 일본을 포함한 미국, 유럽은 이러한 비전 제시와 함께 수소 사회 표준화를 위한 다양한 전략적인 방향성을 제시하고 수소 사회 구축과 산업 분야의 리더를 차지 하기위해 치열한 경쟁하에 있음

*** 네덜란드, 151억, 영국 3조 843억, 덴마크 266억, 독일 3,250억원 등 투자**
*** 일본은 도요타와 혼다 등의 11개 사가 1,000억 투자를 통한 충전소 확충**

- 수소 자동차 분야의 선두권 기술을 소유한 상태에서 신재생에너지 시대 대비를 위해 수소연구를 지금 시작하지 않는다면 수소 기술 선도의 기회를 실각할 수도 있으며, 따라서 다양한 기관 참여가 가능한 수소 사회 모델 제시가 시급한 상황임

3. 국가 지원의 필요성

○ 에너지 패러다임의 변화는 민간차원에서 이루어질 수 없는 국가 차원의 정책

- 현 화석연료 위주의 에너지 패러다임을 신재생에너지 활용과 수소 활용을 위한 변화는 국가차원에서 수립해야 하는 장기간에 걸친 로드맵이 뒷받침되어야 함.

- 이를 위해 `19.01 수소자동차와 수소 발전을 중심으로 `40년까지 수소 가격 3,000원/kg 수준을 목표로 수소 경제 활성화 로드맵을 발표하여 청사진을 제시

< 비 전 >

세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

- 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

			2018년	2022년	2040년
목표	수 소 차		1.8천대 (수출) 0.9천대) (내수) 0.9천대)	8.1만대 (수출) 1.4만대) (내수) 6.7만대)	620만대 (수출) 330만대) (내수) 290만대)
	연 료 전 지	발전용 (내수)	307MW (전체)	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
		가정·건물용	7MW	50MW	2.1GW
	수 소 공 급		13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年 이상
	수 소 가 격		-	6,000원/kg	3,000원/kg

그림 1.18. 수소 경제 활성화 로드맵의 주요 목표 (`19.01.17. 관계부처 합동)

- 수소 경제 로드맵 달성을 위해서 경제성이 확보될 수 있는 수준까지 국가 차원의 투자를 통해 산업 육성 전략이 필요함.

○ 민간이 접근하기에는 손해가 크며, 시장이 없는 상황에서 민간 자본 투입은 무리

- 현 단계에서 신재생에너지 자체의 비용부담으로 인하여 수소 단가에 대한 경세성을 확보하는 것은 어려우며, 이시기 민간의 투자를 요구하는 것은 무리
- 충전소 위주의 현 수소 사회 구성도 고가의 수소 자동차 및 충전소 구축 비용으로 인하여 보조금 정책을 시행하여 활성화를 유도하고 있는 중임
- 수소 사회 구축을 위해서는 별도의 재정이 요구되고 있으며, 현재 빠른 시간내에 이를 보완할 수 있는 기술개발이 이루어져야 함

○ 각 지자체 별 특성화를 위한 계획 용역이 국가 수소 사회 로드맵에 따라서 진행되고 있으나, 지자체만의 재정으로 민간 투자를 유도하기는 어려움

- 통영, 전주, 강원도, 대전, 화성, 평택 등 다양한 지자체에서 수소 도시 계획 용역을 진행하였거나, 진행 중에 있음

- 대부분의 수소 도시 용역 결과에 따른 도시 계획은 천문학적 단위의 예산이 요구되는 것으로 나타나고 있음. 이러한 예산적인 부분 해결을 위해서는 민·관의 협력 체계 구축이 필요함

○ 수소경제 구축에 대한 민간 투자 유도 전략의 핵심은 지속가능성에 있음

- 현 진행되고 있는 수소사회 도입의 정책적 방향성은 보조금 책정에 있으나, 실질적으로 도출된 것은 충전소 구축 및 운영에 대한 것이 대부분으로 충전소 보조금 만으로 수소 사회 전체를 구현하는 것은 무리
- 결과적으로 국가 차원의 재정투입에 대한 진지한 논의가 필요한 시점임

제 3절 사전기획 추진 경과

1. 사전기획 추진 절차

○ 총 4개의 단계로 구성하여 진행하며, 산학연관으로 구성된 사전기획위원회를 조직하여 수소 도시 모델 도출의 객관성을 확보

그림 1.19. 사전 기획 절차 및 내용

○ **(1단계)** 기획위원회는 산 · 학 · 연 및 지자체에 의해 구성됨

- (10개 기업) 이엠솔루션, ㈜두산, 한국전력기술, GS건설, 대우건설, 라이트론, 시노펙스, 현대자동차, 가스안전공사, 써치&델브
- (4개 학교) 고려대, 중앙대, KAIST, GIST,
- (7개 연구원) 한국에너지기술연구원, KIST, 울산 테크노베이션, 대전 테크노베이션, 전남 녹색에너지연구원, 과학기술정책연구원, 기계연구원
- (16개 지자체) 강원도, 충남도, 전남도, 대전, 아산, 평택, 통영, 전주, 완준군, 울산, 창원, 광주, 행복도시, 여수, 충주, 화성

그림 1.20. 핵심 사전기획위원회 구성

○ **(2단계)** 핵심 기획위원을 활용한 자료조사 실시

- 수소 관련 선진국 (미국, 호주, 덴마크, 영국, 일본, 네덜란드 등)의 수소 도시 혹은 로드맵을 분석함으로써 수소 도시 및 인프라 구축을 위한 참고자료로서 활용
- 일본 기타쿠슈와 고베 등 가장 선진화되고 있는 수소 도시가 구축된 현지를 방문 및 현지 담당자와 미팅을 통해 벤치마킹의 포인트를 분석
- 산업 동향과 특허/논문 분석 등을 통해 현재 국내 기술의 현주소를 확인하고 이에 맞추어 수소 도시 모델 도출 전략을 분석
- 각 지자체 등의 자체 모델에 대한 인식도 등을 조사함으로써 현 국가 차원의 수소 도시 모델과의 융합모델 전략을 추진

○ **(3단계)** 각 자료 분석을 통해 도출된 수소 도시 비전과 세부 모델을 제시하고 이에 따른 기술 수요조사를 실시

- **(ToP-Down 방식의 도시 모델 도출)** 각 기술 분석으로부터 기본 도시모델을 도출하고, 일본 등의 선진국 도시 모델을 결합한 3개의 도시 모델 도출
- **(Bottom-Up 방식의 도시 모델 도출)** 각 지자체에서 자체 도출하거나 혹은 계획되어 있는 도시 모델을 조사하고, 지자체 특성화 수소 활용 도시 모델 도출
- **(기술수요 조사)** 2가지 방식의 수도 도시 모델을 종합하여 단기모델과 장기모델을 도출하여 각 개별적인 기술 수요조사 실시

○ **(4단계)** 조사된 기술에 대한 분석 및 각 도시 모델별 기술 구현 목표 및 내용 도출 그리고 기술로드맵 작성

- 각 도시 모델별 조사된 기술수준과 구현 가능성을 종합 평가함으로써 도시모델별 목표와 기술개발 내용을 선정
- 기술별 장단기별 구현 가능성을 종합평가함으로써 기술개발 로드맵을 작성

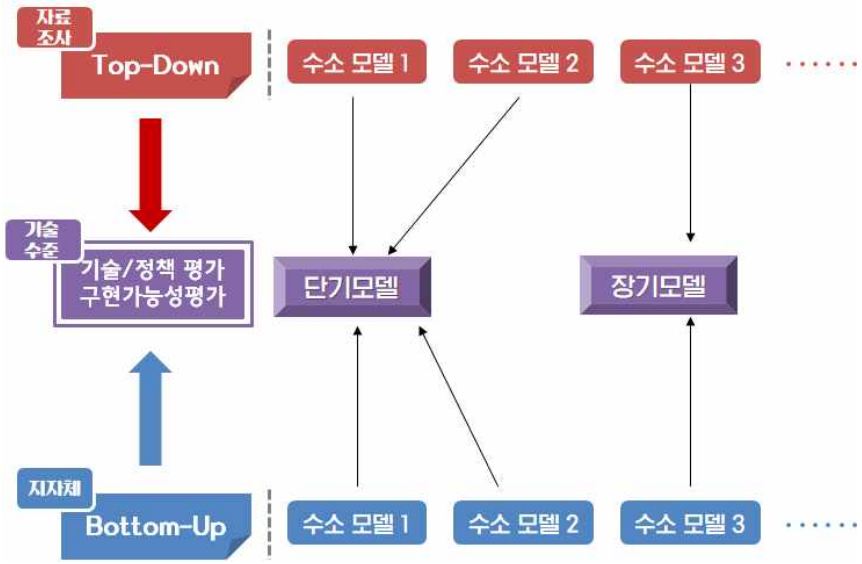


그림 1.21. 수소 도시 모델 도출 방법

○ 기획위원 풀

소 속	담 당 과	이 름	직 책
고려대학교	화학공학부	이관영	교 수
	융합연구원	황문현	교 수
	정책연구원	전종욱	교 수
	사회환경건축공학부	홍승관	교 수
한국에너지 기술연구원	수소 연구실	김종원	책임연구원
	수소 연구실	정성욱	실 장
	수소 연구실	김우현	선임연구원
	연료전지 연구실	박석희	실 장
한국과학기술연구원	국가기반기술연구본부	한종희	본부장
	연료전지 연구센터	윤창원	책임연구원
중앙대학교	화학신소재공학부	이철진	교 수
광주과학기술원	융합기술학제학부	홍성안	교 수
한국과학기술원	신소재공학과	조은애	교 수
과학기술정책연구원	혁신기업연구단	성지은	연구위원

녹색에너지연구원	에너지신산업융합연구센터	이성욱	선임연구원
이엠솔루션		문상동	차 장
㈜ 두산	전략&해외사업본부	문상진	본부장
한국전력기술	신재생환경기술그룹	김대복	부 장
시노펙스	물/환경 본부	박병주	본부장
라이트론		김 혁	이 사
현대자동차	연구개발본부	김성균	책임연구원
GS 건설		박시삼	수석연구원
대우건설	기술연구소	오희경	책임연구원
가스안전공사		이재훈	책임연구원
울산 테크노베이션		조승환	팀장
써치&델브		송치문	대표이사
광주시청	전략산업국 에너지산업과	서인석	주무관
대전시청	에너지산업과 에너지산업정책팀	강민구	팀장
아산시청	기후변화대책과 미세먼지대책팀	차창기	팀장
여수시청	지역경제과	정원빈	차장
완주군청	일자리경제과 투자지원팀	김형진	팀장
울산시청	에너지산업과	이흠용	
전라남도청	에너지신산업과	이정한	주무관
전주시청	탄소산업과 신성장산업팀	이기섭	팀장
창원산업진흥원	수소산업육성팀	강영택	팀장
충주시청	신성장전략과 신성장전략팀	신기섭	팀장
충청남도청	미래산업국 에너지과 수소에너지팀	신선근	주무관
통영시청	신재생에너지팀	차정순	팀장
평택시청	성장전략과 현안사업팀	황선식	팀장
행정중심복합도시건설청	녹색에너지환경과	정진숙	사무관
화성시청	전략사업담당관	고영만	주무관
화성시청	전략사업담당관	이진수	팀장

2. 사전기획 추진 경과

○ (2018.11.23.) 착수보고회 진행

- 국토부, 진흥원, 고려대, 에너지기술연구원, KIST, 울산 TP등 핵심 기획연구진 등 총 12명이 참여
- 각 부처와 차별화된 기획방향 설정과 주민 수용성 문제 해결방안에 대해 논의를 진행함.

○ (2018.12.01.) 협약 및 과제 시작

○ (2018.12.13.) 1차 기획위원회 실시

- 총 8개 기관에서 21명이 참석하여 기획진 착수보고회 진행

- Working group에서 해야할 업무, 즉 자료 조사와 역할 등을 논의하고, 산업부 등에서 진행되고 있는 수소사회 로드맵의 현황 등에 대해서 논의
- 현재 진행중인 벤치마킹 대상 국가 등에 대한 자료 조사 결과와 벤치마킹 전략 등에 대해서 상세 설명 후 향후 확대 기획위원회 등을 위해 논의 진행

그림 1.22. 사전기획 위원회 착수 보고회

○ (2019.01.14.) 2차 사전 기획위원회 실시

- 14개 기관 19명이 참석하여 수소 생산단가 및 수소 도시 모델에 대한 제안을 실시
- 향후 기술 구현 가능성 평가를 위한 수소 생산단가에 대한 자료조사와 이를 바탕으로 도출된 목표 수소 생산단가에 대한 기획위원회의 평가를 실시
- 전반적인 자료를 통한 수소 도시 모델 2개를 제안하고, 이에 따른 사전기획진의 의견과 핵심 기획위원들이 제안한 수소도시 모델에 대해 자료 취합을 실시

그림 1.23. 2차 사전기획 위원회

○ (2019.02.27.) 일본 기타쿠슈 및 고베 등의 선진 수소 도시 모델 견학 및 벤치마킹 자료 수집

- 일본에서 개최된, FC EXPO 참관과 함께 고베의 CGS활용 스마트 커뮤니티 기술개발 사업 참관 및 이와타니 수소충전소, 기타큐슈 수소 타운 등을 방문
- 수소 연료전지를 이용한 가정용 전력과 열을 공급하는 대표적인 수소 타운내 가정용 수소 활용 방안을 견학

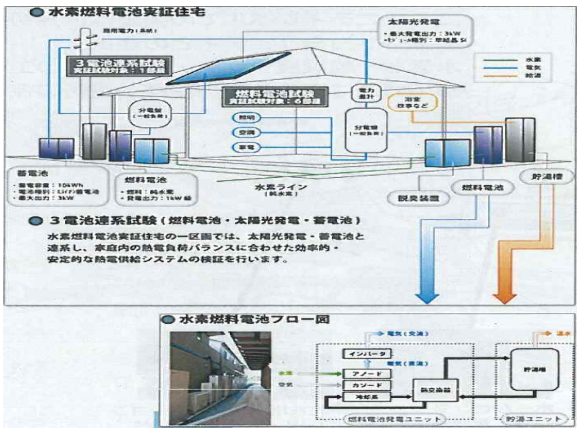


그림 1.24. 키타큐슈 방문 및 수소타운 연료전지 가정의 조감도

○ (2019.03.13.) 지자체 참여 사전기획위원회

- 총 17개의 지자체에서 기획위원진 포함 50명이 참여
- 도출된 수소 도시 모델에 대한 지자체 설명과 현재까지 계획된 지자체별 특성화 전략에 대한 설문조사 등을 실시함
- 각 지자체에서 실시하고 있는 계획안에 따라서 특성화 전략과 국토부에 요청하는 수소 도시 선정시 필요한 사항을 제시

그림 1.25. 3차 사전기획 위원회 – 지자체

○ (2019.05.31.) 사전 기획 공청회

- 총 17개의 지자체에서 기획위원진 포함 50명이 참여
- 도출된 수소 도시 모델에 대한 지자체 설명과 현재까지 계획된 지자체별 특성화 전략에 대한 설문조사 등을 실시함
- 각 지자체에서 실시하고 있는 계획안에 따라서 특성화 전략과 국토부에 요청하는 수소 도시 선정시 필요한 사항을 제시

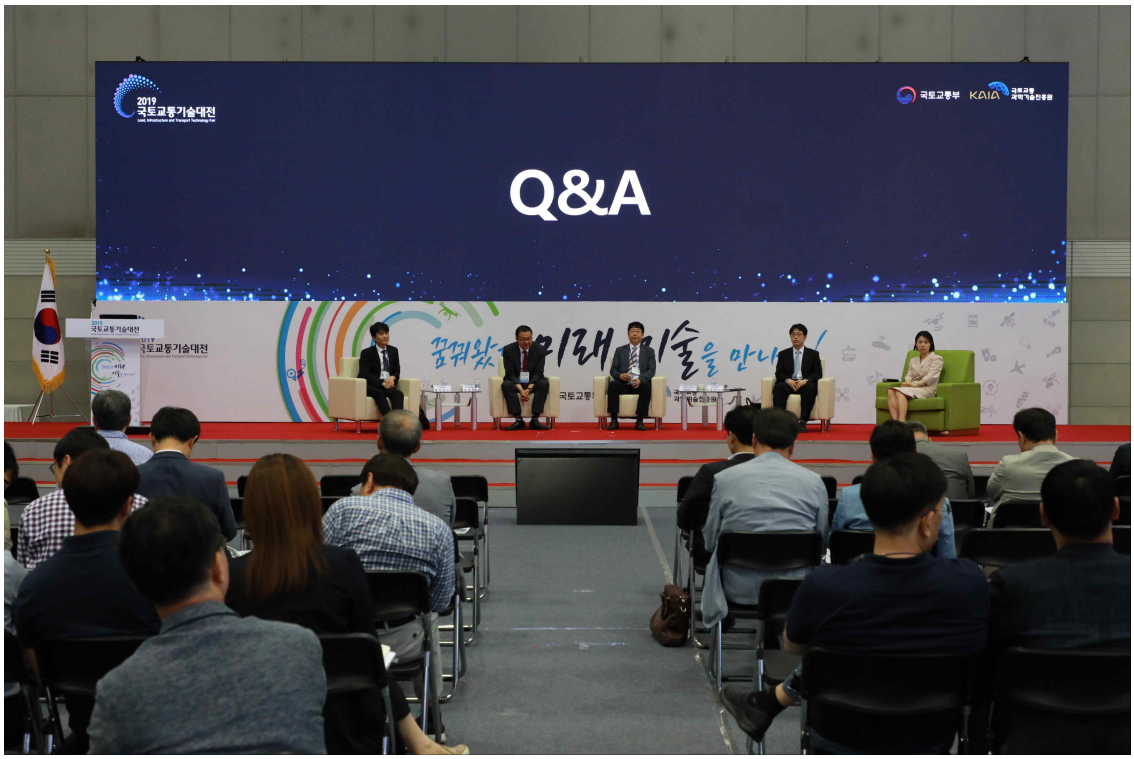
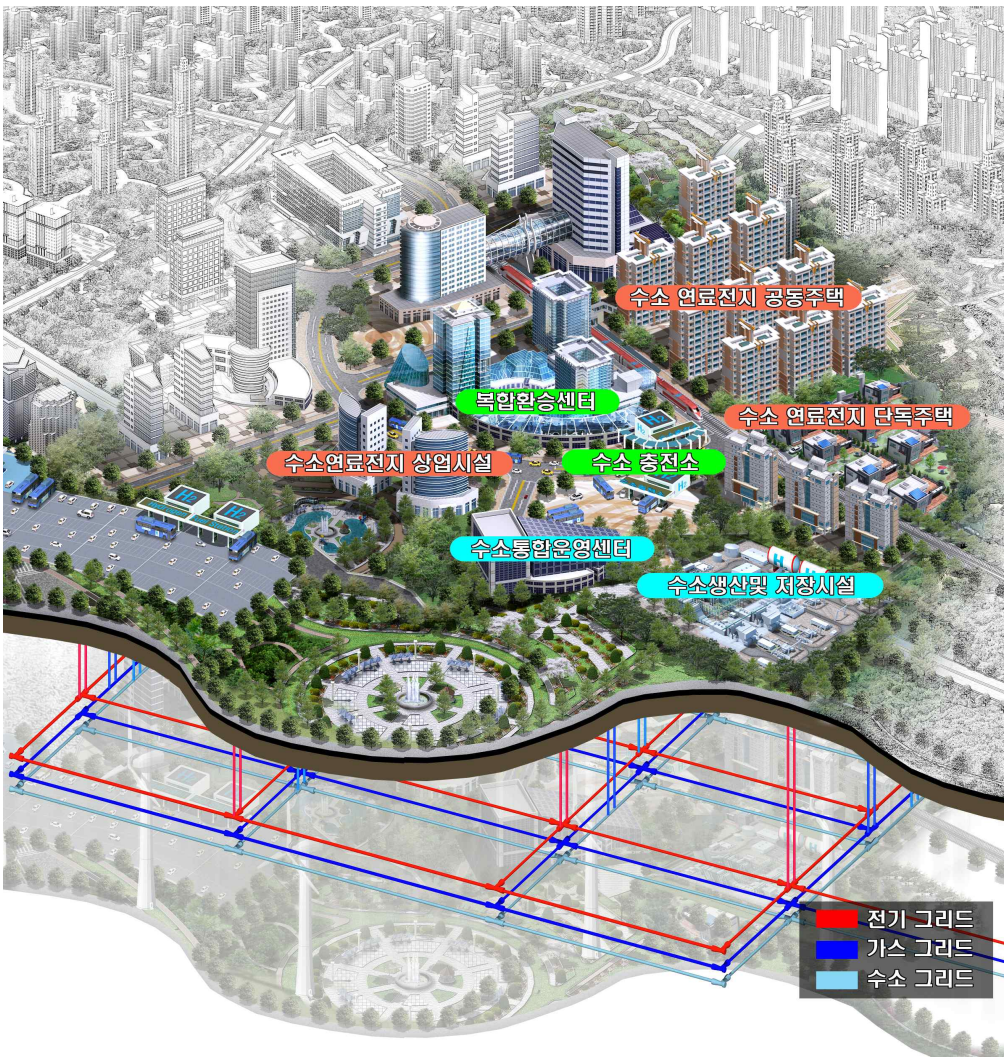


그림 1.26. 공청회

제 2 장

기술개발 환경 분석



제 2 장 기술개발 환경 분석

제 1절 국내외 기술 동향 분석

1. 수소 전주기 기술의 분류

○ 수소의 특성

- 수소는 연료전지내 사용되는 주된 연료로서, 가장 가벼운 화학원소로 무색, 무취이며, 다른 화학약품과 쉽게 반응하는 특성을 가짐
- 화학적 특성 : 녹는점 - 259℃, 끓는점 -252.8℃, 기화열 454.3 kJ/mol, 개스상의 밀도, 0.0696 kg/m3 (1기압, 21℃), 용해도 0.0214 l/L,(1기압, 0℃)
- 매우 가연성의 가스로서, 전기화학적 반응성과 이론적인 에너지 밀도가 높기 때문에 연료전지 사용시 장점이 있음
- 물 분해로 생성할 수 있기 때문에 무한하다고 할 수 있으며, 연소시 환경오염물질 발생이 없음

○ 수소 전주기적 분류 체계

- 수소 경제를 구성하기 위한 기본적인 기술은 수소의 생산, 저장, 이송, 활용 분야로 구성될 수 있음. 각 분야별 기술 분류는 국내 부처별로 다양하게 진행되어 있으나, 일반적으로 생산, 전장, 이송과 관련하여서는 산업부와 과정부를 통해서 기술개발이 이루어지며, 국토부의 경우는 활용 면에 집중하고 있음.
- 국내에서 수소 전주기와 관련된 기술적 분류와 체계는 일반적으로 수소얼라이언스에 의해서 진행된 바 있으며, 이를 지속적으로 활용하여 로드맵 등을 도출하고 있음
- 본 사전 기획에서도 이 일반적인 분류체계를 활용하여 국토부에 맞는 시사점을 도출하고자 하였으며, 수소 생산, 저장, 이송 분야 보다는 활용분야 특히 수소경제 활성화를 위한 도시 측면에서 접근함
- (활용 분야) 국내외 모두 교통분야에 집중되는 경향이 있으나, 실질적으로 수소사회를 구성하기 위해서 주거 (연료전지), 중앙집중형 발전, 수소 공급시스템 및 모니터링, 스마트 에너지 시티 도입, 특수차량 및 소형 충전기술 등에 대한 활용으로 세분화할 필요가 있음

그림 2.1. 수소 전주기적 분류에 따른 value chain (수소 얼라이언스, www.h2korea.or.kr)

2. 수소의 생산기술

□ 수소 생산기술 분류

○ 수소 생산기술 분류는 다양하지만, 그중에서 공통적으로 열적 공정, 전기적 공정, 광분해적 기술 등의 카테고리로 나눌 수 있음

- (열적 공정, Thermal Process) 고온에 의해 구조 변경을 함으로써 수소를 생산하는 것으로 추출수소 (Natural Gas Reforming), 석탄 혹은 바이오메스 열분해 (Gasfication)가 대표적임
- (전기적 공정, Electrolytic Process) 전기를 사용하여 물을 산소와 수소로 분해하는 공정을 의미하며, 신재생에너지를 활용함으로써 청정 수소 (Green Hydrogen) 생산 기술로 분류
- (광반응 공정, Photolytic Process) 빛에너지를 활용하여 물을 분해하는 것으로 청정수소를 만들 수 있으나, 아직 연구단계에 있으며, 대표적으로 광 전기화학반응 (Photoelectrochemical), 광발효 (Photo-Fermentation) 공정 등이 있음

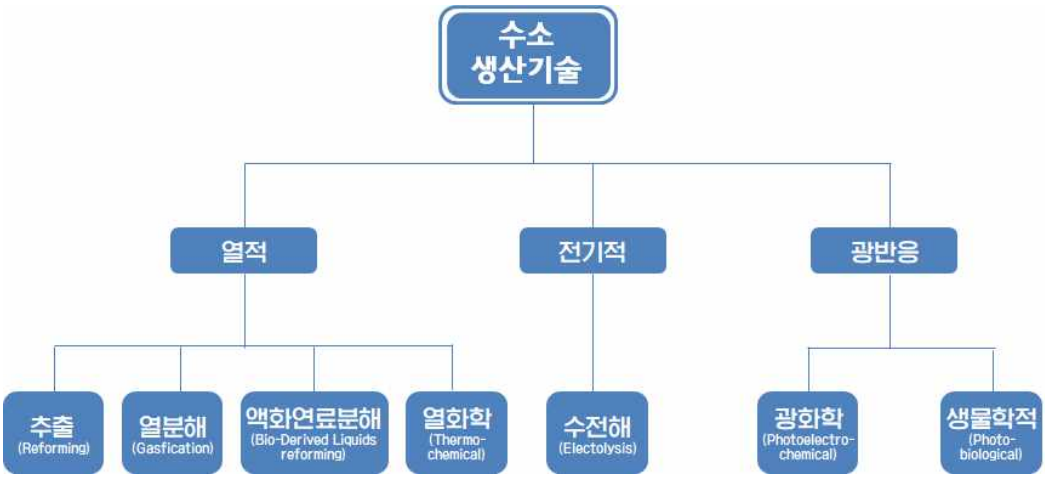


그림 2.2. 수소 생산기술의 분류

- 수소를 생산하는 기술의 최종 지향점은 청정 수소 (Green Hydrogen)이므로 수전해 기술로 일본, 유럽 등의 다양한 국가에서 수전해와 신재생에너지를 바탕으로 수소 도시에 대한 수소 수급 가능성을 검토하고 있음
- 그러나 현 단계에서 대용량 수급을 위해서는 기술개발의 여지가 많이 있어 미국 에너지 국 (US Department of Energy)에서는 `20년 이후 적용될 것으로 예측한 바 있음.

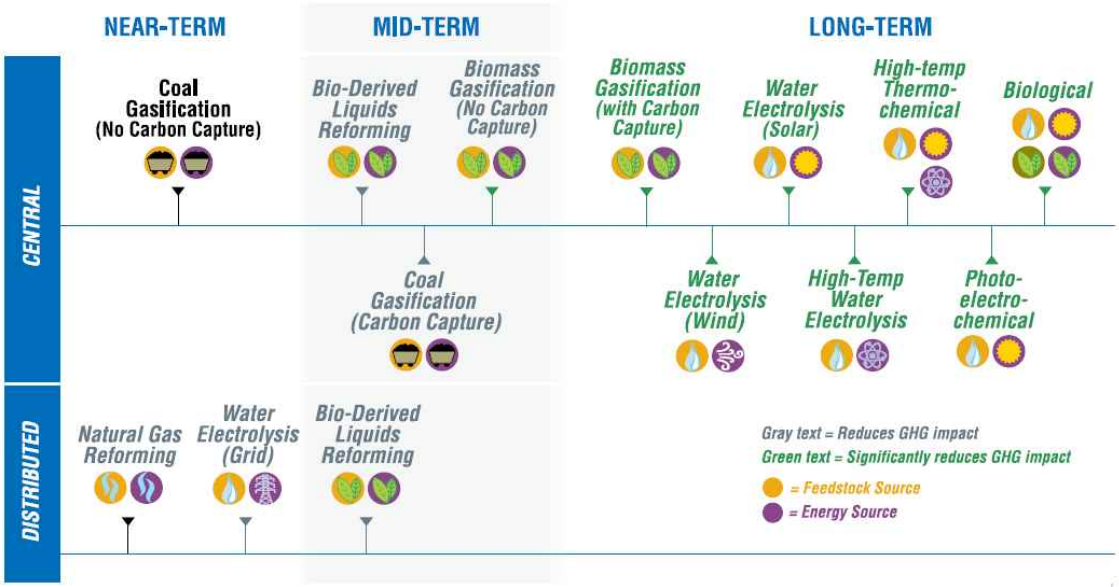


그림 2.3. 수소 생산 기술개발 로드맵
(Hydrogen Production Overview of Technology Options, FreedomCar & Fuel partnership)

○ (추출수소) 천연가스를 고온 (700~1000 ℃)에서 분해함으로써 수소와 이산화탄소로 분리하는 기술로 일반적으로 2단계의 화학반응에 의해 생성됨

- (화학반응) $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ (Ni), $CO + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO_2$ (Cu)
- 현단계에서 안정적이고 경제적인 **대용량 수소 수급**을 위한 유일한 방법으로 대다수 국가에서 수소 경제 (특히 단기간)를 위해 고려중인 **가장 경제적 생산 공정임**
- **(반응조건)** 촉매 (Ni, Cu)하에 온도조건 700~1000℃, 압력 3~25 bar 범위의 조건하에 반응이 형성됨. 특히 온도 조건은 매우 중요해서 700℃ 이하에서는 수소의 발생량이 60% 이하로 감소되기 때문에 **고온유지는 중요한 기술적 요소**임.
- **(추출기 종류)** 총 4가지 종류로 구분하며, Radiant wall, Top-fired, Bottom-fired, Terrace wall 등이 있음

  * A. Karyagina, Haldor Topsoe Flexible Solutions for Hydrogen Production for Refineries (2015)
- **(기술적 한계)** 그림 2.4에서와 같이 이상적인 조건하에서 수소의 순도가 80%를 넘길 수 없어 수소자동차 등에서 활용을 위해서는 반드시 **정제 공정이 있어야 함**
- **(기술적 방향성)** 안정화 된 기술이므로 전략의 초점이 **추출기 설치 운영비 절감에 초점**이 맞추어지나, 수소의 순도향상을 위한 맴브레인 결합에 대한 연구 방향성이 제시됨. 즉 추출기와 멤브레인을 결합함으로써 CO_2와 수소를 내부 분리함으로써 수소 연료로 활용할 수 있는 순도까지 자체 생산이 가능한 기술개발 방향성을 제시

  * Palladium-세라믹 막이 적용되었으나, 경제성이 약하기 때문에 새로운 막 개발을 제시
- **(생산 용량)** 국내 SK사에 70,000 Nm^3/h급이 건설되어 있으며, 필요량에 따라서 대형화가 가능함.

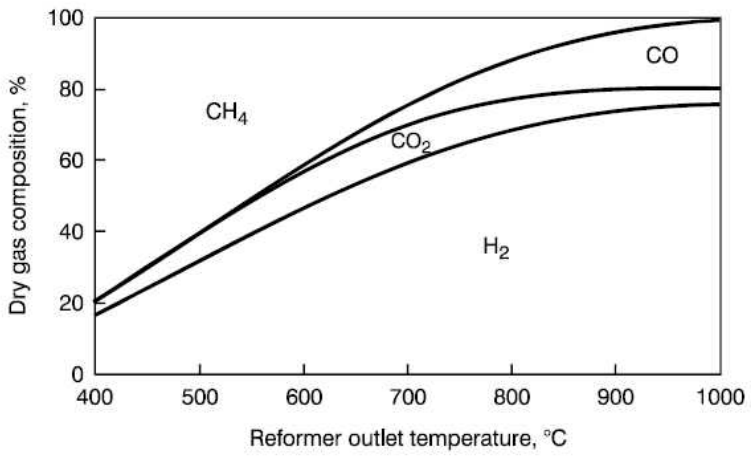


그림 2.4. 추출수소 생성시 온도조건에 따른 수소 구성비 (메탄과 스팀비 2.5, 압력 26 bar조건, Large-Scale Hydrogen Production, TOPSOE technologies)

○ (석탄/바이오메스 가스화) 주로 석탄을 사용하는 경우가 대부분으로 산소 및 스팀에 의해 가스화한 이후 합성가스 (수소 + 일산화탄소)를 정제하여 수소를 생성하는 방식으로 1900년대에 이미 상용화되어 사용된 기술임.

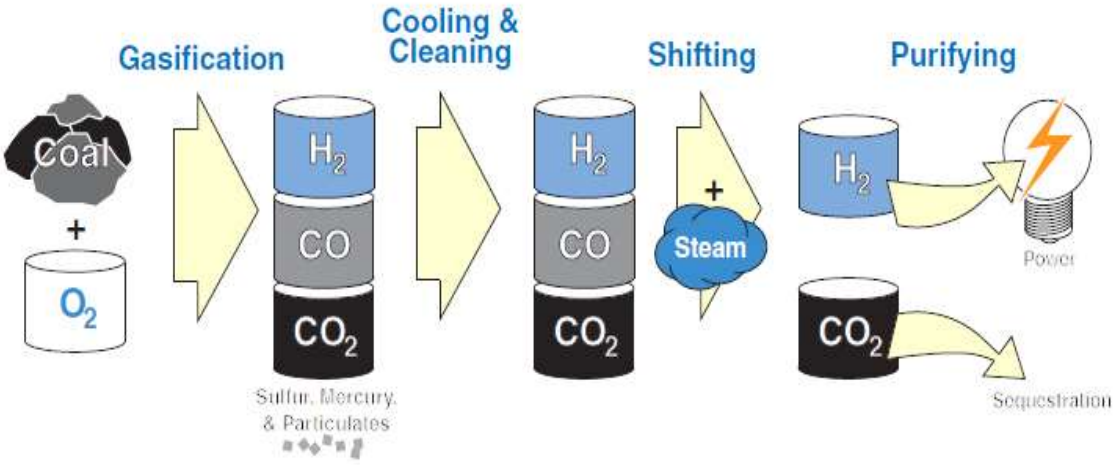
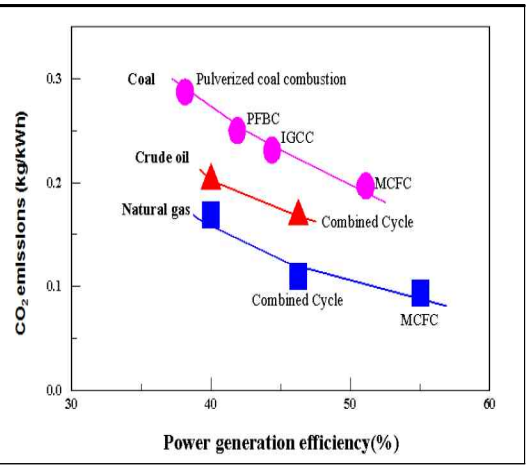


그림 2.5. 석탄 가스화 공정의 모식도
(Facts Sheet, The Gasfication Process, www.mwcog.org)

- **(화학반응)** $CH_{0.8} + 0.6H_20 + 0.7O_2 \rightarrow CO_2 + H_2$ (NET 반응)
- **(반응조건)** 일반적으로 촉매는 사용하지 않으며, 반응온도 370~1600℃, 압력 ~60 bar조건에서 산소 존재 하에 발생
- **(기술적 한계)** 명확하게 석탄 발전은 이산화탄소 배출량이 가장 많은 공정으로 석탄가스화를 통해서 비록 이산화탄소 배출량 저감이 가능할 지라도 비교적 소량이기 때문에 **천연가스 개질에 비해서 저감량이 적다는 명확한 한계점**이 있음. 또한 복잡한 공정에 따른 낮은 효율성에 의해 **천연가스 추출 수소에 비해 경제성이 부족**함. 따라서 수소생산이라는 측면에서 보다는 화력 발전소에 주로 적용
  *** 천연가스 추출 공정의 효율성이 80% 이상인데 비해 석탄가스화는 70% 미만의 효율성**
  *** IGCC 발전에 따라 SOx와 NOx, 그리고 미세먼지 분야에 대한 해결이 가능하기 때문에 상대적으로 화력발전소에서 석탄가스를 대체할 경우 유리**
- **(기술적 방향성)** 이미 1900년대에 사용된 기술로 기술적 성숙도가 높기 때문에 핵심기술 개발 보다는 경제성 확보측면에서 접근하고 있음. 미국 DOE에서는 이러한 방향성으로 3가지 핵심 연구분야 각각 Air Separation, Engineering Design, System Integration를 제시하고 있음
  *** 실질적으로 수소와 산소를 분리하여 극저온 공정 대체 기술에 대한 접근성을 요구**

표 2.1. IGCC 발전방식의 비교 및 CO2저감량 비교 (신재생에너지 백서 2018)

발전방식	기존 석탄화력	IGCC
규모	300~1300	200~600
효율 (%)	36~38	40~46
SOx 배출 (%)	100	1~5
NOx 배출 (%)	100	17~32
분진 배출 (%)	100	2
고상 폐기물 배출	100	50~95
CO_2 배출 (%)	100	95



○ (신재생에너지 활용 수전해) 전극을 이용하여 물을 수소와 산소로 전기분해함으로써 수소를 생산하며, 물을 전기분해하기 위해서는 전기화학적으로 **전력이 최소 1.2 Volt 이상이 요구**됨. 신재생에너지는 전력을 생산함으로써 물을 전기분해하기 위한 최소한의 전력을 공급하는 역할을 함

- **(화학반응)** 2개의 전극에서 각각 화학반응이 발생함

· Cathode : $2H_2O$ (L) + $2e^-$ → H_2 (g) + $2OH^-$ (aq)

· Anode : : $2OH^-$ (aq) → $1/2O_2$(g) + H_2O (L) + $2e^-$

· Net : $2H_2O$ (L) → H_2 (g) + $1/2O_2$(g)

- **(반응조건)** 일반적으로 그림 2.6에서처럼 이론적으로는 1.2 volt가 요구되나 실질적으로는 발열반응이 발생되는 1.5 volt 이상의 전력과 전기의 흐름을 위한 전해질 (일반적으로 KOH 등 사용) 농도가 요구됨. 온도는 이론적으로 1.5 volt 이상에서 큰 영향이 없어야 하나, 반응속도 문제로 인하여 70℃이상에서 운영이 되어야 고 효율이 있는 것으로 알려짐

- **(기술적 한계)** 수전해를 통한 수소의 생산은 명백하게 전력이 소모되며, 이러한 전력은 기술적 저항값 즉, 전극의 분극, 전기적인 저항, 버블 혹은 유체 점성 등에 의한 저항 등에 의해 효율저하를 발생시킴. 또한 수소라는 관점에서 전력을 수소로 변환함으로 인한 효율저하는 명백하게 전력을 그대로 소비할 경우에 비해 효율저하가 있으므로 경제적 손해임.

*** 전력비가 수소 생산에 있어 핵심 barrier로 작용**

*** 신재생에너지 발전에 따른 낮은 전력비 등으로 보완이 필요함**

*** 수소 1 kg 생성을 위해 요구되는 전력은 이상적인 조건에서 35.14 kWh이나, 현재 일반적으로 최대 80% 내외의 효율을 보여주고 있음**

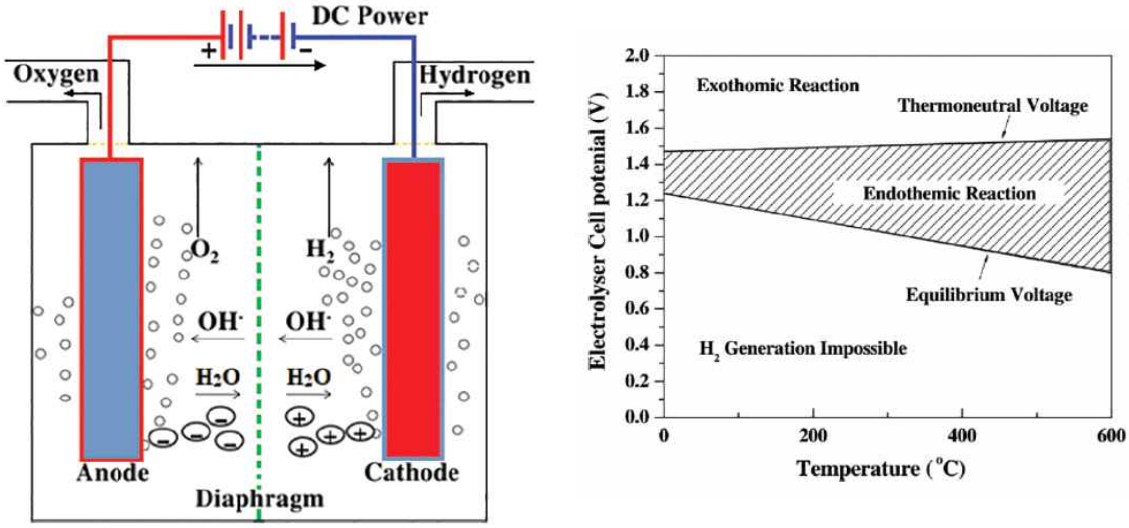


그림 2.6. 알칼라인 수전해와 수전해를 위한 전력과 온도 조건 관계
(Hydrogen Generation by Water Electrolysis, Youssef N. and Amal, A., 2018, http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76814)

- **(기술적 방향성)** 유럽 (노르웨이)에서 1927년 대용량 수소 생산 수전해설비 설치 이후 다양한 방향으로 연구가 진행되어 실질적인 운영 효율은 한계에 부딪친 상황임. 따라서 추가적인 연구로서는 새로운 시스템 (PEM electrolyzer, Solid oxide electrolyzer)등으로 집중하여, 시스템 효율 증가 쪽으로 방향성을 제시
  · PEM (Protons Exchange Membrane) electrolyzer : 양극에서 발생되는 산소 등에 따른 삼투현상을 줄이기 위해 이온교환막을 활용하여 극간 거리를 줄인 개념
  · Solid oxide electrolyzer : 고온(800~1000℃)에서 운전을 하여 전력소모량을 감소할 수 있도록 고형 전해질로 대체한 개념으로 효율을 약 92%까지 증가시킬 수 있는 것으로 알려짐

○ (기타) 열 화학 반응, 광 전기화학적 물분해 공정과 광 생물학적 공정 등이 있으나, 이 공정들은 실험실 수준으로 아직까지 현질적으로 적용하기에는 무리가 있음

- **(열 화학 공정)** 온도가 2000℃이상에서 물분해가 발생되기 시작하므로 이를 이용해서 수소를 생산하는 공정으로 ZnO를 추가해서 회수까지 가능한 수소 생산 공정임. 온도증가를 위해 집중형 태양열판을 이용함
- **(광전기화학적 수소생산)** 특정 반도체 물질을 활용하여 태양광과 물로부터 수소를 생산하는 공정으로 내구성 유지할 수 있는 물질과 코팅 방법을 실험실 수준에서 연구하고 있는 수준임

– **(광 생물학적 수소생산)** 다양한 미생물, 즉 시아노 박테이아, 조류 등이 메타볼릭 패스웨이를 통해 수소를 생산하는 방법이나, 효율성 면에서 개선해야 하는 점이 많아서 실험실 수준에 그치고 있음

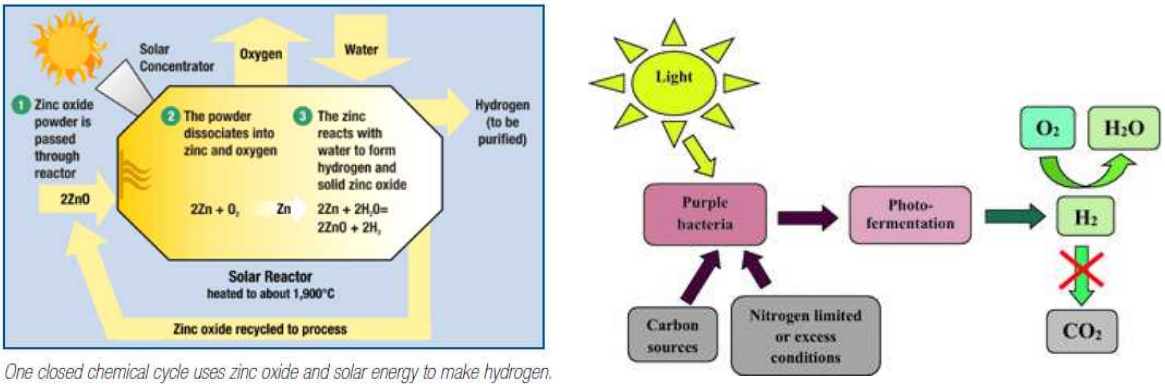


그림 2.7. 열화학적 수소생산 및 광 생물학적 수소생산 모식도
(Hydrogen Production Overview of Technology Options, FreedomCar & Fuel partnership)

3. 수소의 저장기술

□ 수소 저장기술 분류

○ 수소 저장기술은 큰 카테고리로서 물리적 수소저장과 소재 (Material) 저장기술로 분류될 수 있으나, 기술적 베이스로 기체 고압수소저장, 액화 및 액상수소저장 그리고 고체 (금속)수소저장 기술로 분류될 수 있음

– **(수소 저장의 화학)** 그림 2.8은 수소의 온도와 압력에 따른 상태를 보여주며, 이에 따라서 저장 방식의 전반적인 조건을 알 수 있음. 상대적으로 타 연료에 비해 낮은 수소 밀도는 실질적으로 에너지 운반체로서의 부피 증가로 인하여 이송면에서 불리한 점이 있음. 따라서 상대적인 고압 압축 혹은 액화기술에 따라서 수소를 저장, 이송해야 하는 단점이 존재함.

· 그림 2.8에서 액체상태 존재를 위해 수소는 극저온 상황을 유지해야 하며, 낮은 끓는 점에 의해 수소가 증발하는 현상이 발생 (최대 13 atm, -240℃)
· 일반적인 액화조건은 대기압하에 -252.87 ℃임
· 수소 메탈은 일반적인 대기압 하에 10,000 bar 이상이 요구되므로 현실 가능성이 없으며, 상온 하에서는 어떤 방식으로도 액화 수소를 만들 수 없음

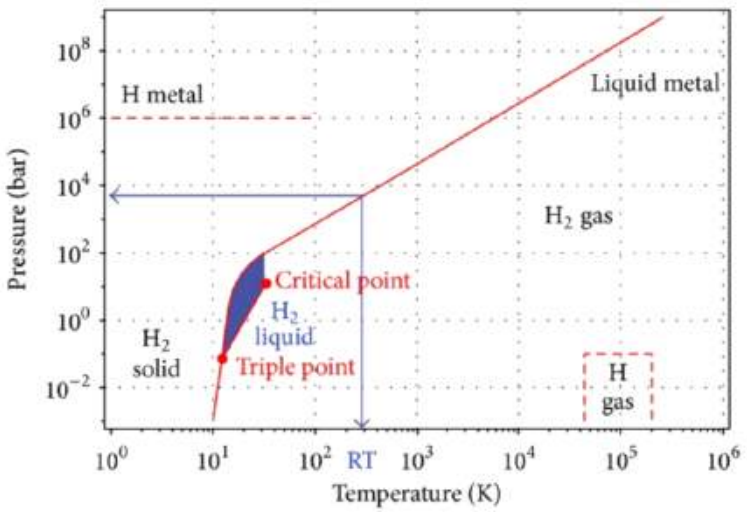


그림 2.8. 수소 온도와 압력에 따른 상태 다이아그램
(Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Aroorv Gupta, SWEDEN, 2017)

- **(물리적 수소 저장 방식)** 대표적으로 고압 수소기체저장, 액체 수소저장이 있음. 그중 고압 수소 압축저장은 가장 많이 사용되는 기술이며, 액체 수소저장기술은 현재 기술 개발 중이며, 파일럿 수준까지 진행되고 있음
- **(소재 수소 저장 방식)** 대표적으로 금속수화물 저장 방식과 화학수소화물 기반 저장기술이 있으나, 일부 금속수화물 저장 방식외 상용화를 위한 기술 개발 진행중에 있음
- 대표적으로 수소의 저장은 기체압축 방식이 현재 가장 많이 적용되고 있으며, 액화 저장에 대한 기술이 차기 기술로 개발되고 있는 상황하에, 일부 금속수화물 저장 기술이 현장에 적용되고 있음. 이외 저장기술은 실험실 수준 혹은 파일럿 상황 하에 기술개발 중에 있으나 단기간 내 적용은 어려울 것으로 사료됨

○ **(고압 수소 기체저장)** 수소를 200~700 bar 범위의 고압에서 압축하여 탱크에 저장하는 기술로 가장 간단한 방식으로 일반적인 상온에서 저장하나, 저온에서 높은 밀도로 인한 고효율로 인하여 액화질소 온도인 77K (−196℃)의 저온에서 보관하는 기술이 개발 중임

- 현 단계에서 산업계 스케일로 상용화된 유일한 기술이며, 최근 수소자동차를 위해 700 bar 수준까지 저장이 일반화되었으나, 대용량 저장기술까지 안정화 기술 개발이 필요함

*** 700~800bar 압력 범위에서 액체수소와 유사한 체적당/질량당 에너지 량 면에서 유사한 경쟁력을 가짐**

그림 2.9. 수소 저장기술의 분류

- 수소 자동차 분야에서 기체압축저장은 전세계적으로 표준화되어 적용 및 인증 절차를 마련할 만큼 수소사회 구성을 위해 단기간 내 활용 가능한 저장기술임
  * 유럽 ISO 11439, 미국 ANSI/AGA HGV2, 아이슬란드 Reijikijun Betten, 독일 TUV, 일본 KHK등
  * UN SAE J2579의 지침에 따른 전체 수소저장시스템에 대한 규제 요건 통합 규정 발표
- **(현상황)** 수소 자동차 분야 적용을 위해 주로 개발되었음. 현재 350 bar에 의해 초기 저장 기술이 700 bar수준의 고압으로 저장함. 이 상황은 수소 기체 압축기술이 수소 자동차에 초점을 맞춘 상태에서 발전하고 있기 때문임. 그러나 현 기술 상황은 1094 bar까지는 달성하여 점차 고압 저장기술쪽으로 발전하고 있는 양상임. 이는 그림 2.11에서처럼 800 bar 이상의 고압하에 저장할 경우 10 bar에서 보관되는 액체 수소와 유사한 에너지 밀도 유지가 가능하기 때문임
  * 그림 2.11은 대기압 하에 액체 수소와 비교할 경우 1,000 bar이상의 고압 압축이 필요하다는 것을 의미함
  * 넥쏘는 3개의 수소저장탱크내 700 bar압축을 통하여 6.3 kg 수소 저장
- **(기술적 한계)** 그림 2.11에서 보여주는 것처럼 기체 압축저장의 경우 수소의 높은 에너지 밀도에도 불구하고 낮은 체적 밀도로 인하여 상대적으로 부피 에너지 밀도가 낮으며, 이는 부피 면에서 많은 양을 저장, 이송해야 함을 의미함
  * 수소 :120 MJ/kg, 가솔린 :45 MJ/kg

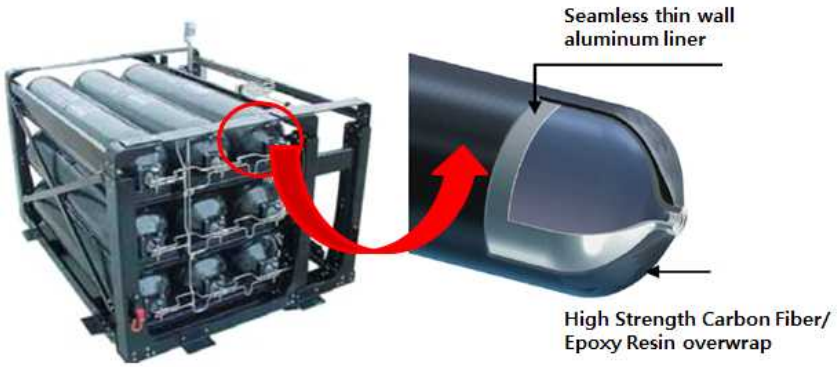


그림 2.10. 수소 고압압축 저장 용기
(Report on Hydrogen Storage and Applications Other Than Transportation)

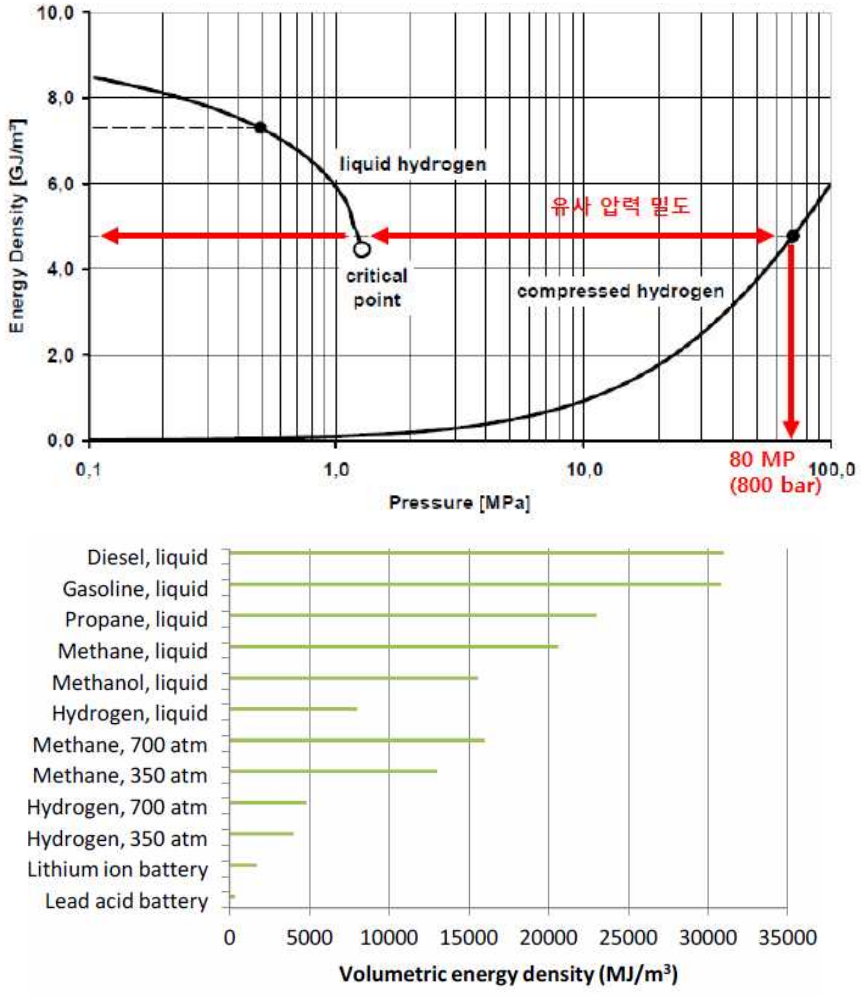


그림 2.11. 액체 수소와 고압 압축 기체 수소의 에너지 밀도 비교
(위 : Report on Hydrogen Storage and Applications Other Than Transportation)
(아래 : Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Aroorv Gupta, SWEDEN, 2017)

- (기술적 방향성) 미국 DOE에서는 수소 저장 밀도를 70 kg/m^{3}에 초점을 맞추어 기술개발 방향성을 제시하였으나, 가스압축저장 기술로는 실현 불가능한 수치임 (약 20,000 bar이상의 압력). 따라서 이 기술은 수소 사회 실현을 위한 과도기적 기술로 분류가 될 수 있으며, 현재 저장용기의 단가 감소 쪽으로 초점을 맞추어 개발되고 있음

○ **(액화 수소 저장)** 수소의 에너지 밀도는 액화상태에서 높기 때문에, 잠재적인 활용 가능성이 높은 방식으로 -253℃까지 낮추어 액화상태의 수소를 저장하는 방법임. 이 온도에서 수소는 기체상태 부피의 1/700을 나타내므로 만약 1,000 bar이상의 고압에서 기체 압축을 할 경우 에너지 밀도는 유사하게 됨. 그림 2.8, 2.11은 이러한 관계를 보여주나, 실질적으로 액화수소의 밀도보다 같거나 높게 구현하는 것은 여러 면에서 실현가능성이 없음

- 액체 수소 밀도는 약 70.85 kg/m^{3}이며, 현 단계에서 액상 수소 저장기술과 기술개발 경쟁 중에 있으나, 실질적으로 액화를 위해 요구되는 에너지 수준이 높아 아직까지 기술개발 중에 있음

- 액체 수소 저장을 위한 에너지 범위는 그림 2.12에서처럼 시간당 1 kg 액화용량에서는 수소가 가지고 있는 에너지 밀도를 넘어서 요구되므로 상대적으로 가치가 없을 만큼 고 에너지 요구 공정으로 분류됨

- **(현상황)** 저장에 요구되는 에너지는 대형일수록 커지나, 그림 2.12에서 볼 수 있는 것처럼 상대적으로 JT 효과를 발생시키기 위한 냉각과 액화까지의 냉각에 소요되는 에너지가 상대적으로 크기 때문에 수소가 가지고 있는 에너지의 40−45%까지 손실되는 구조임.
  · 수소에너지 밀도와 액화를 위한 에너지 밀도를 비교할 경우 현 기술로는 시간당 10 kg/h (0.24 ton/d 플랜트) 용량 이상의 플랜트에서 성립이 됨
  · 그림 2.12는 240 ton/d 플랜트 이상에서 약 수소에너지 밀도의 40% 이상이 요구되고 있음을 알려주며, 기술의 발전이 필요함을 알려줌
  · 500 bar내외의 압력하에 기체 압축시 10 MJ/kg 이하의 에너지 소요량 에 비해 4배 이상이 필요함을 알려줌

- **(기술적 한계)** 극저온 상태에서 보관되어야 하므로 상대적인 열손실이 발생할 수 밖에 없는 구조임. 따라서 반드시 저온 유지 장치가 필요하며, 수소증기 축적에 따른 압력 증가 방지를 위한 배기 시스템 그리고 발생된 수소의 재이용 설비 등의 부가 설비가 요구됨

  *** 상대적으로 가격이 높은 컨테이너와 대형 컨테이너를 요구 (크기가 클수록 적은 BOG 손실)**

- **(기술의 방향성)** 보관을 위한 컨테이너 가격 경쟁력 향상과 극저온에 따른 손실 저하가 핵심적인 기술 개발 방향성임
  · 미국 DOE에서 제시한 25년 50 kg/m^3의 저장 밀도를 달성할 수 있는 방법으로 꾸준하게 연구되고 있음
  · BOG 손실 방지를 위한 BOG가스의 금속 수화물 재저장 등의 재활용 저장기술과의 시스템화 등이 연구됨
  · 가장 핵심은 액화공정에 요구되는 에너지 강도를 감소시킬 수 있는 기술개발임
  *** 액상 기술에 대한 지속적인 개발**

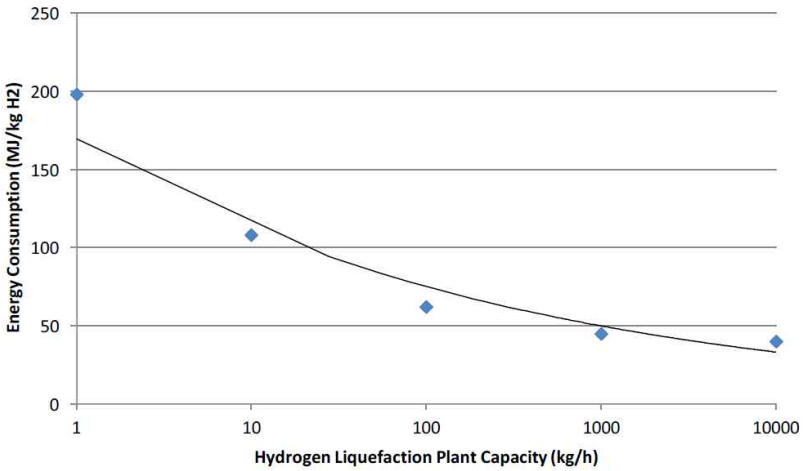


그림 2.12. 액화 수소 공정 중 발생되는 에너지 요구량
(Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Aroorv Gupta, SWEDEN, 2017)

○ **(액상 수소 저장)** 액상수소 저장은 수소를 액체상태의 화합물질로 변환시켜 저장하는 것으로 상온/상압 조건에서 수소를 저장/이송/방출 기술 구현의 장점이 있음.

- 대표적으로, 메탄, 암모니아, 개미산, 메탄올 등의 전통적인 화합물을 활용
- (LOHC, Liquid Organic Hydrogen Carrier) 액상유기화합물을 활용하여 수소를 결합하고, 운반이후 저장된 수소를 재방출하는 것으로 주로 벤젠형태의 유기화합물을 활용함 (benzene(C_6H_6)−cyclohexane (C_6H_{12}), toluene(C_7H_8)−methylcyclohexane (C_7H_{14}), naphthalene($C_{10}H_8$)−decalin($C_{10}H_{18}$) N−ethylcarbazole ($C_{14}H_{13}N$), methyl−cyclohexane (MCH) 등이 있음)
- 일반적으로 액상유기수소저장을 위해서는 200℃ 내외의 고온에서 촉매반응에 의해 LOH로 변화시킨 후, 지정된 곳까지 운반 후 300℃ 내외의 고온에서 촉매반응을 통해 수소를 재 생성하고 유기화합물은 재활용을 하는 시스템임

· 안전성이 높으며, 장기간 보관에서 손실이 없고, 저장밀도가 높은 장점이 있음
· 300~350℃의 온도가 수소 재생산을 위해 필요하므로 약 30%의 수소 손실이 발생할 수 있음

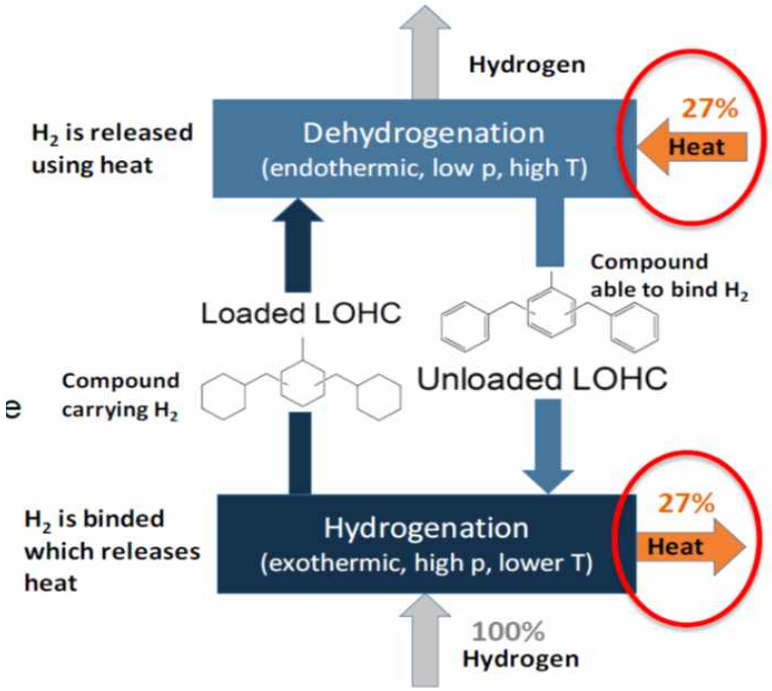


그림 2.13. LOHC의 일반적인 개념도
(LOHC-concep evaluation and technoeconomics, Hurskainen, M.&Karki J., 2018)

- **(기술방향성)** 에너지 강도가 높은 공정으로 인하여 저장단계까지는 안정적이나 수소 재생성공정까지 포함할 경우 **에너지 면에서 효율증대가 필요**함. 따라서 반응 촉진을 위한 **촉매 개발**도 시급함

○ **(금속수소화물 저장)** 금속(혹은 합금, M)을 수소기체(H_2)와 반응시켜 금속수소화물(MH_n)을 형성함으로써 수소를 저장하고 에너지 공급을 통해 수소를 재방출하는 수소저장방식으로 액상수소 저장과 유사 내용으로 구성됨

- 대표적으로, Mg-M (M = Li, Cu, LaNi5, etc), M-B (M = Li, Mg, Ca, etc; 예, $LiBH_4$, $Ca(BH_4)_2$, 및 $Mg(BH_4)_2$), Ti-M (M = Fe, Mn)을 포함한 다양한 소재 등이 개발
- Li, B, Na, Mg, Al 등을 주로 타겟으로 연구개발 중임. 비록 Fe, Mn에 대한 저장도 연구중이나 무거운 소재 보다는 가벼운 소재 위주로 고려하므로 주기율표상 2,3 주기의 금속 원소를 대상으로 하기 때문임.

- 일반적으로 수소 3kg 저장시 무게와 부피를 비교하면, 표 2.2에 나타난 것처럼 금속수소 저장은 무게와 저장 부피에서 액화저장에 비해 단점이 명확함. 그럼에도 불구하고 안정성과 액화시 요구되는 에너지를 고려하면, 경제성 면에서 금속수소저장 방식의 유용성이 잠재함

표 2.2. 금속저장과 액화수소 저장간의 비교

수소 저장	에너지 저장 밀도		3 kg 저장시		10 kg 저장시	
	MJ/kg	MJ/L	kg	L	kg	L
액화 H2	120	8.5	3	42.3	10	141
FeTiH	1.80	3	200	84	665	280
MgH2	8.73	7.85	41.3	46	138	153

- **(화학 반응)** 일반적인
  · M+nH2 → M−H2n + **Heat** (absorption reaction)
  · M−H2n + **Heat** → M+nH2(desorption reaction)

○ **(비교)** 그림 2.14는 미국 DOE에서 제시한 화학수소화물(액상)과 금속수소화물의 에너지 밀도와 수소 재 생산을 위해 요구되는 온도 조건을 보여줌

- 에너지 저장 밀도면에서 금속 수화물의 우수성을 알 수 있으나, 상대적으로 수소 재생성을 위해 고온 등의 에너지가 요구됨. 특히 높은 에너지 밀도를 갖는 금속수소화물은 높은 활성화 에너지로 인해 400℃이상을 요구할 수도 있음

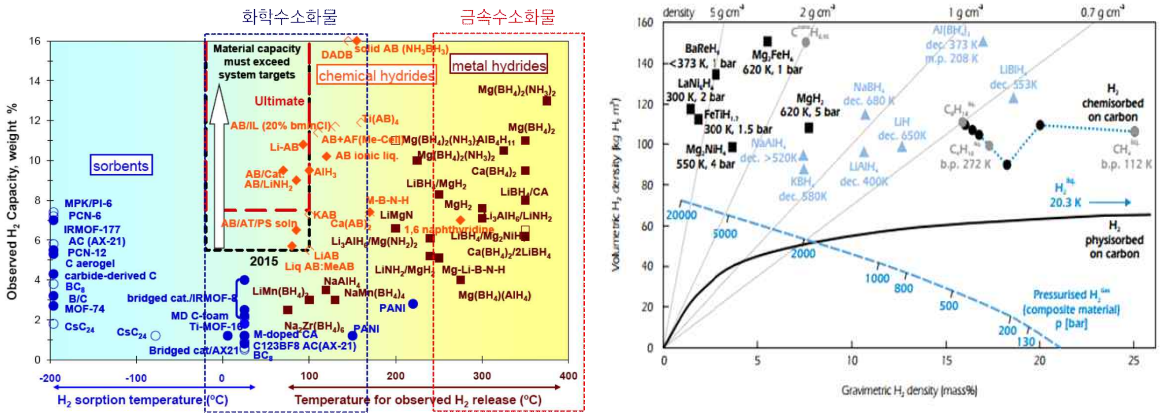


그림 2.14. 금속/액상 수소화물의 저장 밀도 비교
(Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Aroorv Gupta, SWEDEN, 2017)

- 금속수소화물에 비해 액화 혹은 액상 수소화물 중 암모니아, 메탄올 등은 이미 산업용 스케일로 활용이 되고 있음. 다만 이런 수소화물 저장 기술 들은 모두 고 에너지를 요구하는 기술들로 기술 개발이 더 요구되고 있는 **파일럿 단계에서 가능성을 검토하는 단계**임

4. 수소의 이송기술

□ 수소 이송기술 분류

○ 수소 이송기술은 현재 활용가능한 것으로는 가스 트레일러 (Gas Trailer), 액화 탱커 (Liquid Tanker), 파이프 라인 (Pipeline)으로 분류되며, 현재 대용량 수송을 위해 액화 수소 선박, 철도, 액화수소 트레일러 등이 개발되는 것으로 조사됨

- 전반적인 기술 체계는 운송거리에 따라서 선택 사항이 변할 수 있음. 호주의 기술 로드맵상 이송기술은 그림 2.15에서와 같이 선택될 수 있으며, 이는 저장방식별로 분류되었음
- 트레일러과 철도는 액화/가스 저장이송이 모두 가능한 반면, 전자는 1,000 km 이내에서 후자는 장거리 일수록 좋은 수단임
- 파이프라인 운송은 기체 상태 이송이 주 수단이며, 장거리 운송수단으로 선택될 수 있으며, 선박 운송은 초 장거리 운송수단으로 액상 수소 이송 수단임

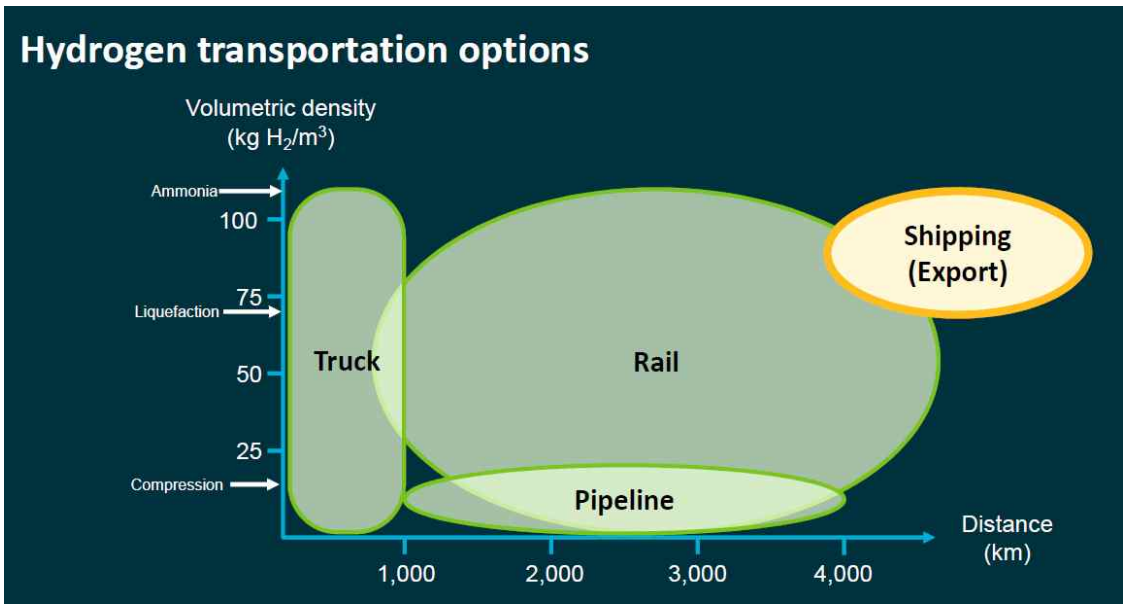


그림 2.15. 거리별 운송방법 분류
(Austrailia`s National Hydrogen Roadmap: Storage & Transport, 2018)

□ 수소 이송기술

○ **(파이프 라인)** 장거리 운송 중 대용량 운송을 위해 고려되고 있는 운송 수단으로 수소만 운송하거나 천연가스와 혼합해서 운송하는 기술이 개발

- 일반적으로 수소의 발열량은 천연가스보다 낮기 때문에 같은 직경/압력 하에 천연가스보다 30% 내외의 적은 에너지를 운송하므로 더 큰 직경 혹은 상대적으로 고압 하에 운송해야 함
- 파이프 재료와 실링의 문제 그리고 강철파이프는 심각한 부식 문제 해결, 공급의 Flexibility를 위한 지하저장 기술 등이 핵심 기술개발 방향임
- 에어 린데사, 린데사 등이 유럽을 중심으로 수소 파이프라인을 주도적으로 설치하였으며, 2017년까지 1596 km, 북미는 약 2,575 km에 달함

그림 2.16. 유럽내 수소 파이프 라인
(Hydrogen Transport and Distribution, Weber, M. and Perrin, J. 2008)

- **(FRP 파이프)** 강철 파이프라인에 비해 저렴한 설치 비용이 장점임. FRP 파이프에 주로 중합체 코팅을 해서 활용하며, 약 70 bar (설계 및 재료에 따라 250 bar)까지 활용될 수 있음.
- **(천연가스 혼합)** 이 방식은 기존 천연가스 파이프라인에 수소를 혼합하는 방식이나, 실제 수소 함량은 10-15% 내외로 제한되기 때문에 실제 발열량 등을 고려시 낮은 에너지 수송량에 따른 문제를 해결해야 함

○ **(튜브 트레일러)** 200 혹은 300 bar로 압축/저장된 수소용기를 트레일러로 운송하는 것으로 일반적으로 200 km이내를 권장함.

*** 현재 500 bar압축 이송까지 가능 (미국 DOE)**

- 가장 핵심적인 문제로 운송시 최대 운반 가능한 수소량이 적다는 것임

○ **(액화수소 트레일러)** 액화 수소를 이송하기 위한 트럭으로 극저온을 유지해야 하는 기술 개발 포인트가 존재하나, 수소를 대기압 하에 4,000 kg까지 운송할 수 있다는 장점이 존재함

- 미국을 중심으로 개발되었으며, 미국 우주 프로그램을 활용하기 위해 최초 개발
- **(기술의 방향성)** BOG 손질을 감소할 수 있도록 보관하는 기술이 필요하며, 금속수화물 저장 등의 기술과 하이브리드 형태가 개발 중

○ **(비교)** 수소 이송 수단은 거리별로 경제성에 의해 좌우 되고 있음. 현재 파이프라인, 튜브 트레일러, 액화 수소 트레일러가 가장 현실적인 이송 방식으로 분류될 수 있음

- 그림 2.17에서 볼 수 있는 것처럼, 파이프라인은 건설비 면에서 가장 높기 때문에 전체 비용 증가의 원인이며, 현 단계에서 경쟁력인 있는 것은 단거리 이송에서 튜브트레일러임
- 액화 트레일러는 운영비는 낮지만, 액화시 에너지 비용과 액화트레일러 운영시 발생하는 손실 등이 단가 증가의 원인임

	Volume capacity	Distrib. OPEX	Distrib. CAPEX	Cost upstream	Cost point of use	Constraints
H2 Pipe	High +	Low	High +	Mid	High -	Dense H2 consumption e.g. chemical industry clusters
Cylinders	Low	High	Mid -	Low	Mid	Only small quantities - limited distances
Tube Trailers	Mid	Mid	Mid +	Mid +	Mid	Limited quantities
Liquid Trailers	High -	Low	High -	High	Variable	Liquefaction capacities limited

그림 2.17. 이송 방식의 비교 및 기술개발 방향성
(Hydrogen Storage & Distribution in a Power to H2 context, Air Liquide)

- 호주의 기술 개발 로드맵 상에서 이송 비용을 고려했을 때, 튜브트레일럿 혹은 액화 트레일러의 경우 년간 166,330 km 운송될 경우 2.33과 0.92 $/ton/km이 각각 소요는 것으로 추정하여 운송만 놓고 비교할 경우 2.5배의 차이가 발생하는 것으로 모델링.
- 단, 암모니아 형태로 운송할 경우, 0.33 $/ton/km로 가장 저렴

*** 현 산업계의 운송수단을 그대로 활용**

○ **(지하 저장)** 이수소 저장을 위해 실 사용을 위한 도시 근방 지하 저장 방식을 나타내며, 일반적인 탱크 지하저장, 암석 기반 지하저장, 소금 동굴 등이 있음

– 주된 목적은 수소 생산/이송시 발생되는 flexibility확보를 위한 것으로 천연동굴 등을 활용하거나, 저장 탱크를 지하에 매설하는 방식으로 구성

– **(저장 탱크 매설)** 일반적으로 소용량을 저장할 때 사용되며, 유럽에서의 주요 타겟은 수소충전소로 1,000 대 자동차 분량의 충전량을 지하에 저장하도록 권장.

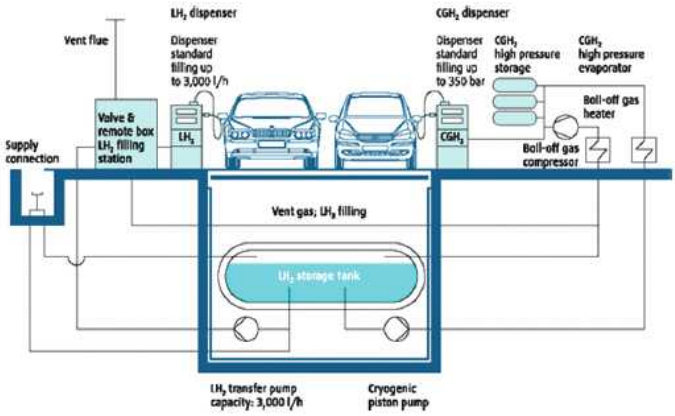


그림 2.18. 린데사에서 제안한 수소 충전소 컨셉 및 지하 저장 개념
(Hydrogen Transport and Distribution, Weber, M. and Perrin, J. 2008)

– **(천연동굴)** 일반적으로 지하에 생성된 동굴을 이용하여 수소를 저장하는 방식으로 주로 소금동굴과 대수층을 이용

· 최소 200 bar이상을 견딜 수 있는 내구력과 수소 유출 방지가 가장 중요한 요소임

· 자연스러운 저장을 위한 지질 구조가 중요함.

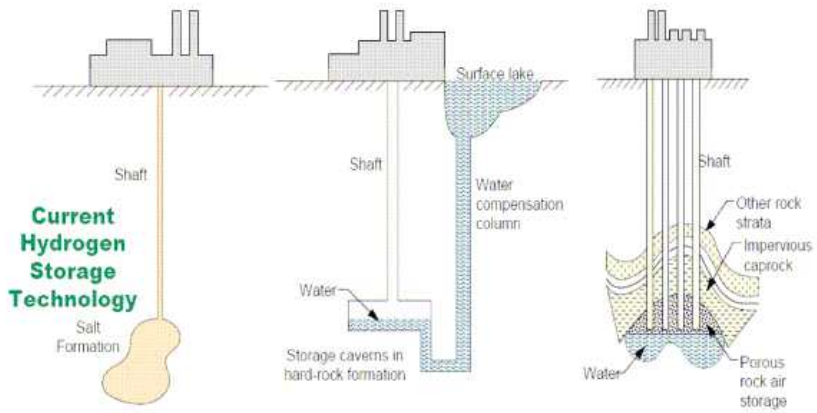


그림 2.19. 지하저장 방식의 조감도
(Global CCS Institute, Underground Gas Storage, https://hub.globalccsinstitute.com)

5. 수소의 활용

□ 수소 활용분야

○ 수소의 역할은 에너지의 carrier로서의 성격이 가장 강하므로 활용분야는 기존 에너지가 사용되는 전 분야라 할 수 있음

- (활용 형태) 수소 자체가 에너지로서 활용이 불가능하므로 실질적인 수단으로서는 **연료전지 시스템을 통한 전력과 열로의 전환기술**이 메인이라 할 수 있음. 이와 함께 수소 발전을 위한 **터빈 발전 시스템**은 중앙의 통합전력 시스템으로서 **대용량 전력 전환 시스템에 대한 핵심**이라 할 수 있음

· (중앙집중식 에너지 생산) 기존 도시에 공급되는 발전소 등의 공급 시스템으로 이는 그리드 혹은 분산형과는 대치되는 개념임. 이를 위한 핵심 기술로 수소 발전 터빈 개발이 반드시 필요

· (분산형 에너지 생산) 신재생에너지 혹은 **수소에너지를 적절하게 활용**하기 위해서는 **분산형 에너지 공급 시스템을 고려해서 추진**해야 함. 단 이러한 시스템을 위해서 필수적인 것이 초전도 케이블과의 연료전시 시스템의 결합으로 적은 용량에서 발생하는 손실 최소화가 중요한 목표임

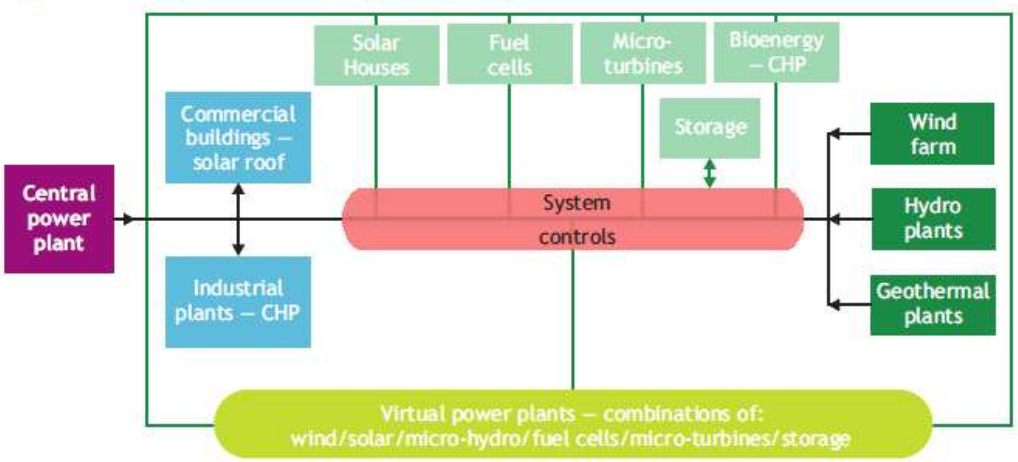


그림 2.20. 유럽에서 제시된 전력 공급시스템 하이브리드 전략
(Cities, towns & renewable energy)

- **(도시내 수소 활용으로서의 에너지 시스템)** 그림 2.21는 신재생에너지와 수소에너지를 활용하는 도시 컨셉을 보여주고 있음. 단순한 수소에너지의 흐름을 보여주는 것으로, 전기분해에 의한 수소생산과 수소 자동차, 수소 발전소의 연계를 나타낸 것임. 또한 난방 시스템의 흐름을 함께 보여줌

· 도시내 에너지 흐름내 수소를 **전력의 carrier로서 역할**로 제한하고 있으며, 신재생에너지에 의한 전력이 메인이 되는 형태의 활용임
· 수소 활용의 핵심 전략은 선진국과 유사한 교통에 기반을 두고 있으며, 전기차와 함께 활용하되, 난방에너지에 대해서는 수소에 기반을 두는 전략임
· 국내처럼 신재생에너지 기반이 약하거나 혹은 환경상 이유로 제한적일 경우는 화석에너지 기반과 하이브리드 하는 방향이 더 현실적일 것으로 사료됨
· 어느 방향이든 **수소는 전력 그리드 기반의 한 에너지 축으로서의 역할에 집중**하는 것이 타당

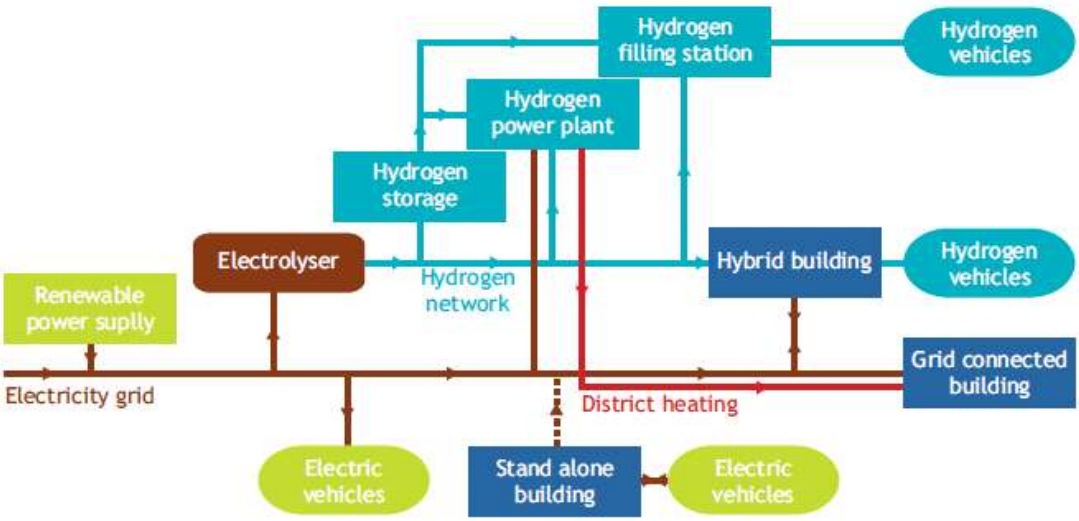


그림 2.21. Danish 사에서 제시한 수소시티 H2PIA의 컨셉

○ 핵심 활용 기술

– **(연료전지)** 이미 2000년대 초반 상용화 기술로서 개발된 것으로 총 4가지 종류의 연료전지가 개발되어 적용되고 있으며, 실질적인 수소 에너지 활용의 핵심기술로서 인식되고 있음
· (정의) 수소, 메탄 등의 연료를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 변환하는 장치로 고효율의 발전효율과 전력과 열을 동시에 발생시킬 수 있는 장점이 있음
· (원리) 연료를 연료극에 공급하면 수소는 연료극의 촉매 층에서 수소이온과 전자로 산화되어, 전자는 외부 도선을 통해 이동하고 수소이온은 전해질을 통해 공기극으로 이동한 뒤, 공기극으로 공급되는 공기 중의 산소와 반응하여 물을 생성시키며 전기와 열을 발생

· (용도별 분류) 고정형, 수송형, 휴대형으로 구분될 수 있지만, 실질적인 분류는 전해질 종류에 따라서 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC), 직접 메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC), 인산형 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)와 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC), 고체 산화 물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) 등으로 분류

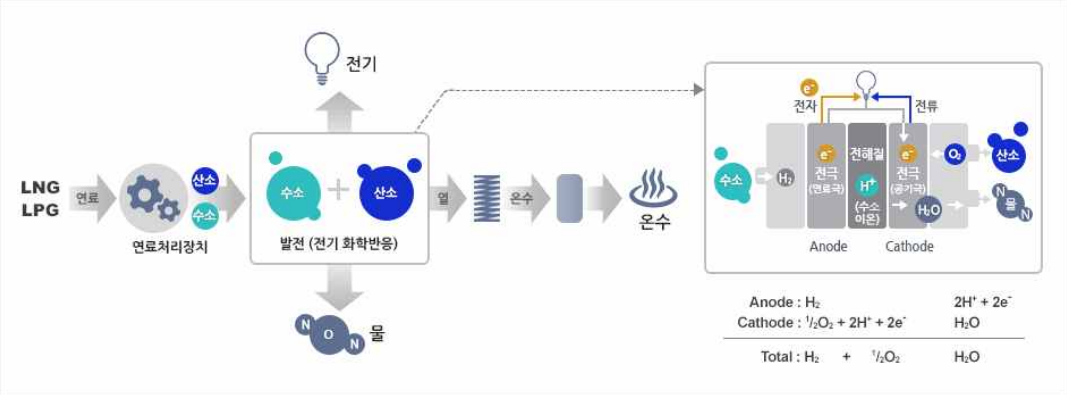


그림 2.22. 연료전지의 원리 (www.doosanfuelcell.com)

· (PEMFC) 수소 이온에 대한 전도성이 있는 고분자막을 이용하는 연료전지로 짧은 시동시간, 부하변동 특성 우수, 출력밀도가 높다는 장점이 있으나, CO에 의해 효율이 저하됨
· (DMFC) 메탄올을 연료로 활용하는 연료전지로 고분자막을 이용하여, 비교적 저온에서 운영이 가능하고, 시스템이 간소하다는 장점이 있음.
· (PAFC) 70% 이상 순도의 수소를 연료로 사용하며, 전해질로 인산을 이용함. 비교적 저온에서 작동하며, 시동시간이 짧고, 높은 부하변동성이 있어 열병합 발전용으로 활용
· (MCFC) 용융 탄산염 (Molten Carbonate)을 전해질로 사용하여 CO_3^{2-}에 전도성을 가지며, 높은 열효율과 전기효율을 장점으로 함. PEMFC 단점인 CO에 대한 내성이 강하여 분리공정이 필요없어 초기 투자비용이 낮고, 시스템 설계가 단순
· (SOFC) 산소이온의 전도성을 지닌 금속산화물이 전해질로 이용. 고온에서 작동되고, 높은 효율의 장점이 있는 반면, 고가의 제작비가 요구됨

– **(수소 발전용 터빈)** 몇몇 회사에서 2013년부터 본격 개발 시작하였으며, 다양한 연구개발 단계에 있음. 단 수소와 천연 가스 등의 혼합가스에 의한 발전으로 기술개발 단계에 있으며, 순수 수소 터빈은 개발되지 못함

· 현단계의 기술에서 수소의 함량 즉 수소와 메탄 등의 혼합비율에 따른 연구 개발 단계에 있으며, 다양한 기술 개발의 초기 단계에 있음

표 2.3. 연료전지의 종류와 장단점 비교

종류	용도	효율 (%)	전해질	연료	촉매	운전온도 (℃)	열활용	장점	단점
PEMFC	주택/ 차량 1-200 kW	< 40	고분자막	수소	백금	25~80	저온수	- 비휘발성 전해질 - 운전 용이성 - 저온작동 - 고출력 밀도	- 수소 불순물 - 높은 백금촉매 - 복잡한 연료개질
DMFC			고문자막	메탄올	백금/ 류테늄	25~70	저온수	- 소형화 가능 - 저온작동 - 고출력 밀도	- 낮은 전극활성 - 많은 백금촉매량 - 메탄올 crossover 현상
PAFC	건물/ 발전 20kW- 수십MW	42	인산	가스연료	백금	~220	중온수	- 높은 CO 내구성	- 낮은 전기전도도 - 느린 환원속도
MCFC	건물/ 발전 20kW- 수십MW	47	용융탄산	가스연료	니켈	~650	중온수,스팀	- CO 영향이 없음 - 고가 촉매 불필요 - 높은 발전효율 - 고온에 의한 복합 발전	- 연료 중 유황성분 - 음극반응에 CO_2 필요 - 짧은 재료수명
SOFC	모두 1kW- 수십MW	> 55	고체산화물 (세라믹)	가스연료	니켈	500~ 1000	중온수,스팀	- CO 영향이 없음 - 고가 촉매 불필요 - 높은 발전효율 - 고온에 의한 복합 발전	- 고가의 제작비 - 제한된 재료 및 전해질

□ 수소 자동차

○ 전세계 수소 경제 즉 수소의 활용에 있어 가장 중요한 분야는 수소 교통으로 선진국 각각의 기술개발 활용의 중심에는 수소자동차와 수소 충전소가 있음

- **(친환경 자동차)** 이미 환경적인 문제, 특히 자동차 온실 가스등의 규제 강화로 인하여 친환경 자동차에 대한 관심은 증대된 상황으로 전기차는 이미 상용화에 성공하여 운행중이나, 수소 자동차는 비교적 최근 기술개발이 급격하게 형성됨

*** 수소자동차도 전기차의 일종으로 분류될 수 있음**

– **(방향성)** 순수 전기차가 일부 판매 될 것으로 예측되었으나, 실제 수소 자동차가 내연기관 자동차를 대체할 것으로 전망함

· 수소자동차는 그림 2.23에 있는 것처럼 전기 대신 수소를 원료로 하고 배터리 대신에 연료전지로 직접 전기를 발생시킨 다는 점에서 타 전기차와 구분됨

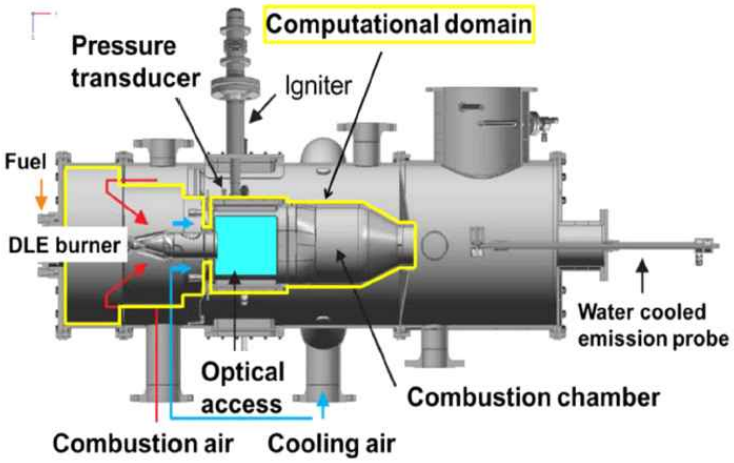
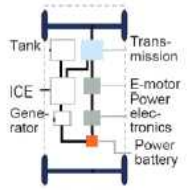
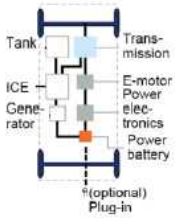
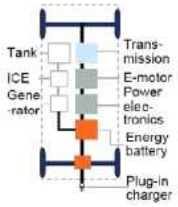
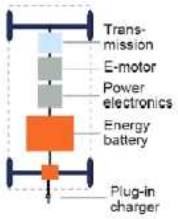
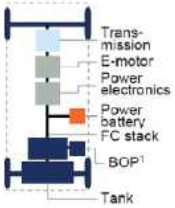


그림 2.23. 복합가스 터빈 모식도 예
(Hydrogen as Fuel in Gas Turbines, Larfeldt, J., 2017)

	하이브리드전기차 (HEV)	플러그인하이브리드차 (PHEV)	주행거리확장전기차 (eREV)	배터리전기차 (BEV)	수소전기차 (FCEV)
구조					
구동방식 및 특징	내연기관과 전기에너지를 동력원으로 사용. 외부 충전 불필요	하이브리드와 같은 구동 방식이지만, 외부 전력 연결로 배터리 재충전이 가능	소형 엔진(발전기 역할)으로 배터리 충전하여 모터로 구동(대표차종 – GM 볼트(Volt))	내연기관 없이 배터리와 모터로 구동	수소를 사용하여 발생시킨 전기로 모터를 구동
영문명칭	Hybrid Electric Vehicle	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	extended-Range Electric Vehicle	Battery Electric Vehicle	Fuel Cell Electric Vehicle

자료 : 과학기술일자리진흥원(2015) 재구성

그림 2.24. 전기차 종류별 특징 및 원리 (수소 전기차, 이&김 2018, KISTEP)

· 전기차에 비해 긴 주행거리, 짧은 충전시간 등의 장점으로 인하여 순수 전기차를 대체할 것으로 기대가 되고 있음

○ (수소 자동차) 그림 2.26에서 볼 수 있는 것처럼 수소 자동차는 현재까지는 한국과 일본이 주도해 가고 있으며, 후발주자로 독일이 뒤따르고 있는 분야로 수소 분야에서 경쟁력이 있는 유일한 국내 기술임

- 현대·기아자동차는 2017년 전세계 친환경차 2위지만 1위인 토요타에 비해 상대적으로 저조함. 그러나 수소 자동차의 경우 `13년 최초로 상용화에 성공하여 향후 간격을 극복할 잠재적인 가능성이 높음
- (원리) 연료전지내 화학반응을 통한 전기와 물을 생산하고 이를 구동력으로 활용하여 운행함.
- (기술) 필요한 기술은 총 4가지의 주요 부품군으로 구성되며, 그중 연료전지가 핵심 기술이 되고 있음

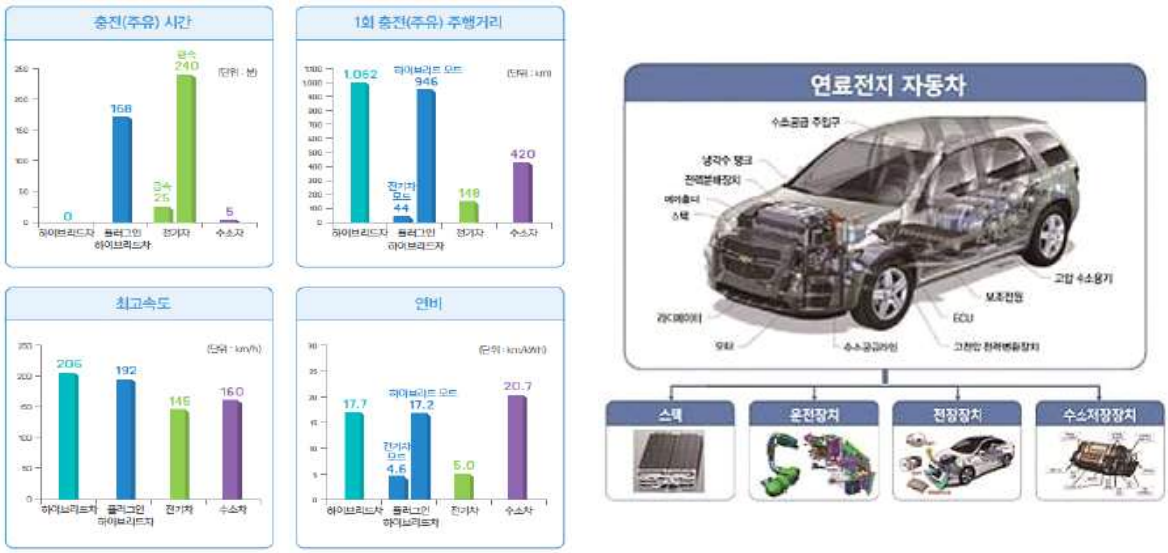


그림 2.25. 전기자동차의 특성 비교 및 수소 전기차 기술 구성
(수소 전기차, 이&김 2018, KISTEP 및 자동차 산업 (수소차 특집) 신영증권, 2017)

□ 수소 충전소

○ 수소 충전소는 수소자동차의 활성화를 위해 필수적인 인프라 기술로 분류되며, 최종적으로 액화수소 충전소와 가스수소 충전소로 귀결될 수 있지만, 액화수소 충전소는 아직까지 기술개발 요소가 많은 기술임

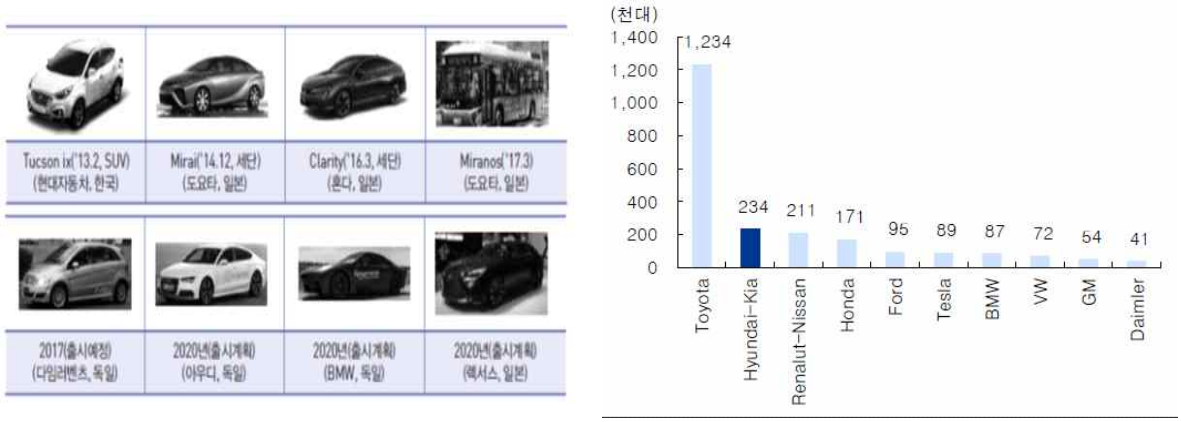


그림 2.26. 각 국가별 수소 자동차의 종류 및 `17년 기준 친환경 자동차 판매 순위
(수소로 가는 전기차, 산업분석 자동차/기계, IBK투자증권, 2018)

- (저장 수소의 종류 별 분류) 액화수소 충전소와 가스수소 충전소로 구분되나, 실질적으로는 충전소 구분을 수소 생산 설비의 일체형과 이송형으로 구분
- (수소 생산 지역에 따른 분류) 일체형 (현장 생산) 수소주유소 (On-site), 수소이송식 수소주유소 (Off-site)로 구분

○ 수소 충전소는 현재 총 12기가 설치되어 있으며, 그중 7기가 상업용, 5기가 연구용으로 확보되어 있는 상황임

○ (기술 분류) 수소 충전소는 압축기와 저장용기 그리고 디스펜서가 메인이 되며, 만약 on-site형일 경우 개질기 등이 추가되어 구성됨

- (기술 방향성) 현 압축기를 900 bar이상 압축할 수 있는 기술과 디스펜서의 국산화 아울러 고압용기의 고압충전시간 지연에 따른 충전기술 단축등의 핵심 기술 개발이 필요

○ (충전소별 장단점) 실제 충전소는 off-site의 경우 수소 생산설비가 필요없으므로 초기 투자비가 저렴하나, 운송 비용이 지속적으로 발생하며, on-site 충전소는 수소 생산설비 투자에 따른 초기 투자비가 높다는 단점이 있음.

- On-site 충전소는 천연가스 배관이 충전소까지 연계되어 있을 경우 경제적으로 유리하나, 실제 천연가스 추출시 발생되는 CO_2등을 정제해서 순도를 높여야 하는 기술이 동반되어야 함

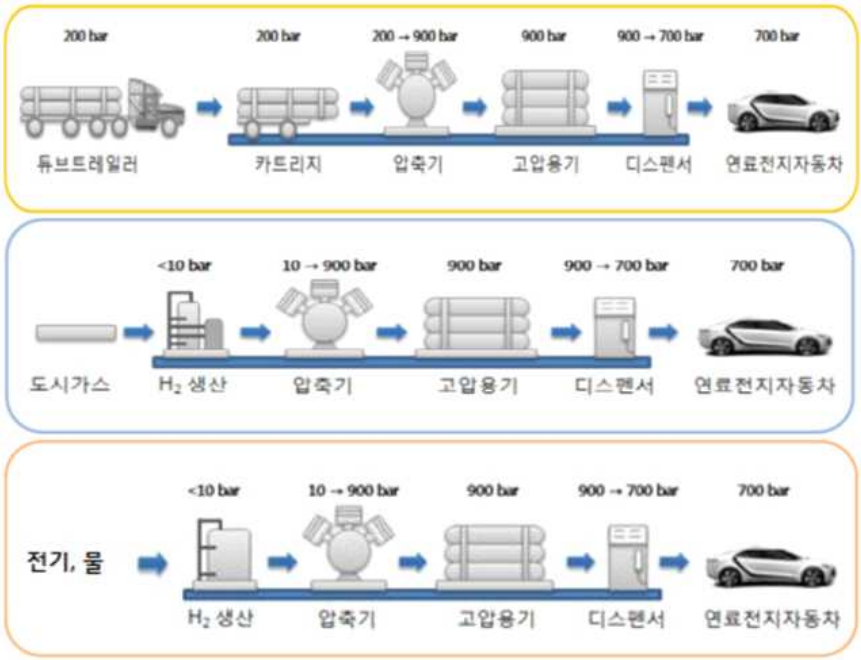


그림 2.27. 재료 및 수소 생산 방식에 따른 수소 충전소 종류
(위:Off-site, 중간:추출수소 방식 on-site, 아래:전기분해방식 on-site, 박진남, 수소복합충전소 최신분석 세미나, 2019)

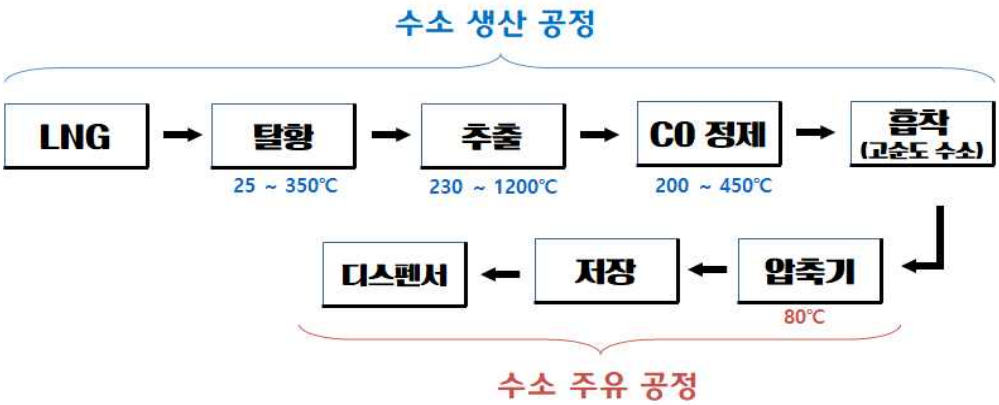


그림 2.28. On-site 수소충전소를 위한 공정 구성
(문&이, 수소스테이션의 연구개발 동향 및 단위공정 기술, Korean Chem.Eng.Res., 2005)

- Off-site 충전소는 대용량 생산에 따른 다양한 공정을 통해서 처리된 고순도의 수소를 패키지화해서 주유소까지 운반되므로 상대적으로 수소 생산단가가 저렴하나, 운송 거리와 운송 량에 따라서 경제적으로 불리

□ 주거용 연료전지 활용

○ 수소 활용을 위한 요소 단위 중 핵심은 연료전지이며, 이를 활용할 시스템은 도시 구성 유닛, 주거, 빌딩, 산업, 교통, 도시규모 및 종류에 따라 달라진다고 할 수 있으나, 주거, 빌딩은 일반적으로 유사한 컨셉으로 구성되고, 교통은 충전소 위주의 모델로 구성됨.

- (주거) 일반적인 주거는 공동주택 (아파트)과 단독주택으로 분류가 되며, 이에 따라서 연료전지 적용 방식이 시스템화되어야 함.
- (공동주택) 100세대 내외의 아파트를 대상으로 중형 연료전지 시스템 적용과 단지별 대형 연료전지 시스템 적용분야로 구분될 수 있음. 일반적으로 각 공동 주택은 모두 천연가스 배급망이 연계되어 있으므로 이를 활용한 추출 수소 생산이 용이함.

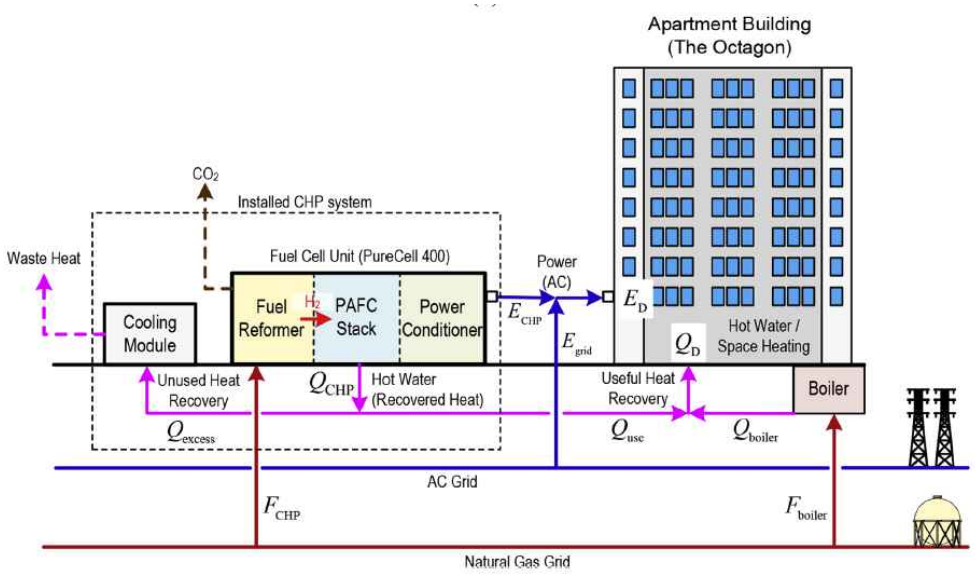


그림 2.29. 공동주택의 천연가스 추출수소 활용 연료전지 적용 모델 예
(Ito, H., International J. of Hydrogen Energy, Vol. 42, 2017)

- (단독주택) 일반적으로 천연가스 추출을 통한 수소공급 연료전지 시스템과 함께 태양광 패널을 활용한 신재생에너지를 동시에 적용함. 특히 낮시간 동안 태양광을 통한 수전해를 통해 수소를 생산하여 저장하고, 일몰이후 활용하여 냉/난방과 함께 전력을 공급하는 시스템이 개발 중

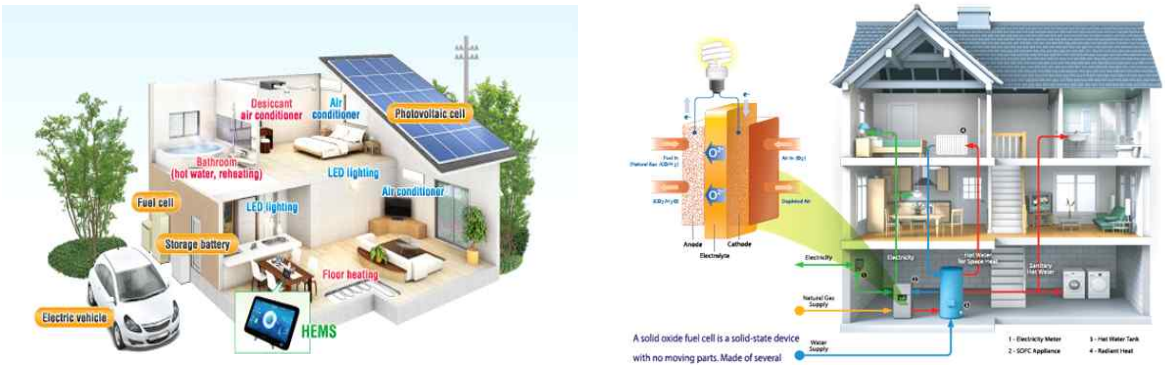


그림 2.30. 일본과 프랑스에서 제시된 연료전지 하우스 모델의 예
(좌: 오사카 가스사에서 제시한 모델, 우:생고뱅사에서 제시한 모델)

○ 수소 발전을 위해서는 수소터빈 및 연료전지 발전 등 2가지 방향성이 있음. 수소 터빈은 지멘스등의 회사에서 혼합가스 터빈 형태로 실증되고 있으나, 순수 수소 터빈 기술개발은 더 진행되어야 하므로, 실질적으로 연료전지의 대형화를 통한 발전이 현실적임

- 연료전지 발전은 대표적으로 두산에서 대산 지역에 건설한 50MW 급으로 대산 지역의 부생수소를 직접적으로 이용하여 전력을 생산하는 프로젝트가 있음. 이 발전용량은 약 160,000개의 지역 주택에 전력을 공급할 수 있는 수준으로 순수소를 활용하는 연료전지 발전으로는 `18년 현재 세계 최대 용량임

*** 대산그린 에너지 수소연료전지 발전사업:두산, 한화에너지, 동서발전, SK증권과 합작법인을 생성하여, 약 2,550억원을 투자하여, `20년 6월 전력공급 예정**

- 국내 수소 연료전지 발전은 충북 진천과 보은에서 추가로 각각 80 MW, 100 MW를 건설 예정임

그림 2.31. 대산 50 MW급 연료전지 발전소 조감도 (매일경제신문)

6. 수소 전주기 기술 개발 현황 및 시사점

□ 수소 전주기 기술 중 핵심 기술 분류

핵심적으로 수소 사회 구현을 위해 다양한 기술이 요구되나, 실질적으로 적용이 가능한 기술은 그림 2.32에 있는 것처럼 요약될 수 있음.

- 생산기술 : 추출수소와 수전해 기술이 주력기술이며, 단기적인 방향에서 천연가스 추출기술과 장기적으로 신재생에너지와 결합된 수전해 기술로 요약됨

  *** 부생수소는 기술이라기 보다는 생산된 수소를 활용하는 개념이므로 기술분류에서 생략**

- 저장기술 : 다양한 저장기술 중 단기적으로 기체 고압압축저장기술과 장기적인 관점에서 액화기술이 있음

- 이송기술 : 단기적으로 파이프라인과 튜브트레일러가 활용되고 있으나, 국내 현실에서는 튜브트레일러가 주로 적합하며, 수규모 대형이송에 파이프라인이 고려되고 있음. 장기적으로는 고압 파이프라인 망이 적합

- 활용기술 : 결국 활용은 연료전지를 활용한 다양한 모델과 수소 교통이 단기적으로 적용되고, 장기적으로 수소터빈 등에 의한 발전 모델이 보급될 것으로 전망

그림 2.32. 수소 전주기 기술 중 핵심 기술 요약

□ 해외 기술 동향

○ 수전해 생산기술

- 1800년대 Ritter에 의해 원리가 발견된 후 1900년대부터 수전해가 개발된 기술적으로 성숙된 기술임
- 전기를 이용하여 물로부터 수소를 생산하는 기술로 신재생에너지와 결합시 Green Hydrogen으로 분류됨. 기술의 원리상, 경제성 확보를 위한 시스템의 효율성 향상이 최대 목표임

· 현재 수전해 생산기술은 크게 3가지 형태로 기술개발 중에 있으며, 그 중에서 알칼리 수전해 (Alkaline Electrolysis, AE)기술만 대형화를 통한 상용화 중임

· 고분자 전해질막 수전해 (Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis, PEM) 기술은 잠재적인 가능성으로 인하여 실증단계까지 추진 중이며, 고체산화물 수전해 (Solid Oxide Electorolysis)는 아직 핵심기술 개발 단계임.

· 3가지 기술은 표 2.4에 요약된 바와 같은 특징을 가지고 있으며, 호주 기술로드맵은 PEM 수전해 기술이 지속적인 연구개발을 통해 AE 수전해 기술보다 경제적이 될 것으로 예측한 바 있음

*** 호주의 수소 로드맵에서 이상적인 기술개발시 PEME 2.54 $/kg H2, AE 2.27 $/kg으로 예측**

표 2.4. 수전해 기술의 종류 (한상범, 고분자전해질 수전해 시스템 기술동향, KIC News, Vol.21, 2018)

항 목	고분자전해질막 수전해	알칼리 수전해	고체산화물 수전해
전해질	양이온 교환막	알칼리용액 (KOH 등)	이온전도성 고체산화물
촉 매	Pt, Ir	Ni, Fe	Ni 도핑 세라믹
작동온도 (℃)	50～80	60～90	700～1,000
작동압력 (Bar)	20～448	10～30	1～15
전류밀도 ($A{\cdot}cm^{-2}$)	2～3	0.25～0.45	0.3～1.0
시동 소요시간	< 10 s	1～5 min	15 min
스택효율 (%, LHV)	60～68	60～71	100
시스템효율 (%, LHV)	46～60	51～60	76～81
에너지소비 (kWh/Nm^3)	5.0～6.5	5.0～5.9	3.7～3.9
최대전력 (kW/스택)	6,000	2,000	< 10
내구성(× 1,000hr)	60～100	55～120	8～20
초기비용(€/kW)	1,400～2,100	800～1,500	2,000
유지비용 (%/yr)	3～5	2～3	n/a

- 전이론적인 수소 생산 효율은 그림 2.33에 나타난 것처럼 이상적인 조건에서 1 kg의 수소를 얻는데 요구되는 전력은 35.14 kWh임. (3.9 kWh/Nm^3)
- 단일 용량으로 가장 대형은 IHT사의 700 Nm^3/hr (약 1,500 kg/d)임.
- 전기분해는 직류를 사용하므로 실질적으로 신재생에너지 중에서 태양광 혹은 풍력에너지처럼 직류를 생산하는 플랜트와의 효율성이 뛰어남. 그림 2.33에서 ICT사에 비해 넬사의 효율이 좋게 나타난 것은 이러한 직류를 직접 적용하였기 때문임. 그러므로 현재 효율적인 면에서는 NEL사와 IHT사간의 유사한 것으로 사료됨

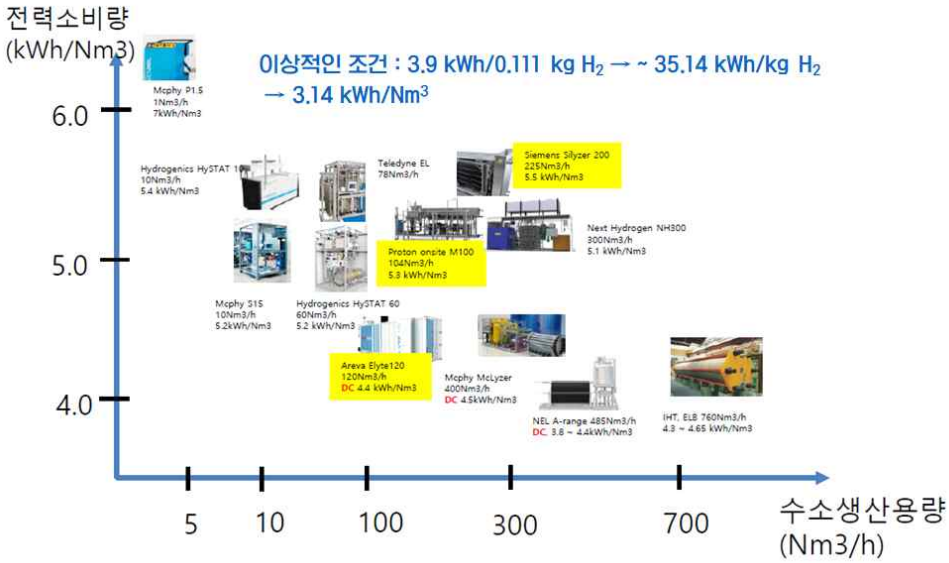


그림 2.33. 세계의 AE 기준 수전해 장치 성능 비교

- (수전해 기술의 개발현황) AE의 경우 시장 지배적인 기술로 NEL, IHT, 지멘스 등 다양한 기업에서 상업화 중에 있음
  · 상용화에 대한 기술 개발은 대형화, 저가화, 고효율화에 두고 있으며, 대형화에 초점을 맞추기 위해 PEM 수전해 장치가 유리
  · 현재까지 경제성은 AE가 우위에 있으나 (표 2.4) PEM 효율이 향상됨에 따라 시장 지배적 기술이 될 것으로 예상
  · 표 2.5은 Hydrogenic사에서 상용화한 AE와 PEME를 비교한 것으로 스택크기와 요구되는 부지 그리고 전력 소모량을 비교할 경우 PEME가 대형화에서 유리
- (수전해 기술의 경제성 확보 인자) 수전해 기술은 전반적으로 시스템 효율증대와 전력비에 큰 영향을 받음

· 미국 DOE에서 분석한 일반적인 스택의 효율은 67% 내외로, DOE에서 설정한 생산단가 2 $/kg$H_2$를 달성하기 위해서는 전력비 0.04 $/kWh이하에서 75% 이상의 효율 달성이 요구됨.

*** 효율 향상을 위한 고온 조건이 이상적인 효율달성을 가깝게 하나, 내구성 문제가 발생**

표 2.5. Hydrogenic사의 AE와 PEME의 비교

항목	모 델	
	AE	PEME
용량	100 Nm^3/hr	5000 Nm^3/hr
스택 수 및 스택당 용량	6 (16.7 Nm^3/hr/스택)	10 (500 Nm^3/hr/스택)
전력	500 kW	25 NW
AC 전력 소모	5-5.4 kWh/Nm^3	Nm^3/hr
Footprint	1 × 40 ft	10 × 40 ft

· 호주의 로드맵은 PEME 기술로의 전환을 예측하며, 현단계에서 가격 민감도는 설치비용과 대형화 그리고 전력비가 가장 높은 것으로 분석하였음

· 현 단계에서 가장 대표적으로 효율 증대를 할 수 있는 분야는 대형화에 있으나, 많은 기술적 생산량 목표가 수소 교통에 초점이 맞추어져 있음.

· 그림 2.34은 이러한 특성을 보여주는 것으로 수소 생산량 100 Nm^3/hr (214 kg/d) 이상이 되어야 투자비가 안정화된다는 것을 보염줌

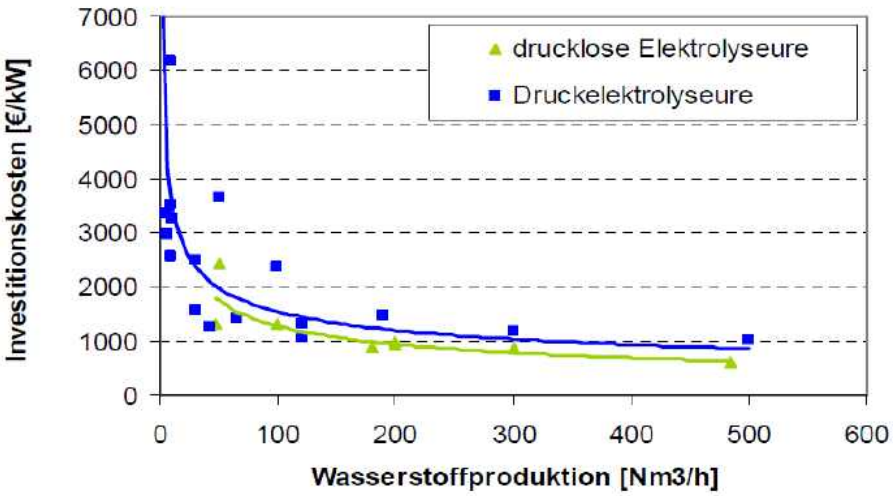


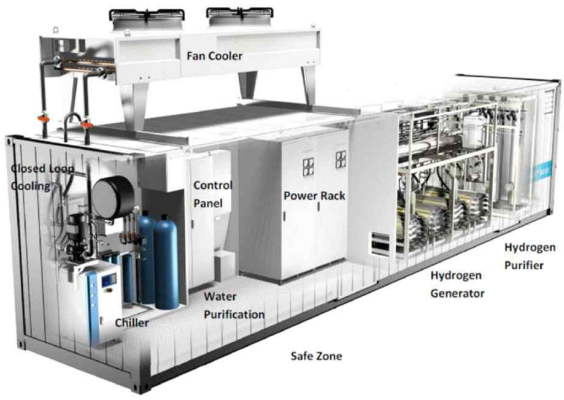
그림 2.34. 수전해 장치 용량대비 투자비용의 변화

- (선진국 수전해 기술개발의 목표) 일반적으로 수소의 전주기 기술에 대한 기술적 목표는 미국 DOE를 참고하는 경우가 많음.
  · 수전해 기술에서 경제성을 좌우하는 시스템 효율과 스택 효율이 미국 기준으로 기술개발 목표가 77, 75%로 수소 kg 생산을 위해 요구되는 전력 44 kWh 수준임. 이 목표는 직류를 적용할 경우 도달할 수 있는 목표이며, 교류 적용시 가장 효율이 높은 상용회된 것은 최대 48 kWh/kg H_2 수준임

표 2.6. 미국 DOE에서 발표한 PEM 수선해 시스템 개발의 목표
(한, 고분자 전해질 수전해 시스템 기술동향, KIC news, Vol. 21, 2018)

항목	단위	2015	2020
제조단가	$/kg	3.9	2.3
시스템 단가	$/kg ($/kW)	0.5 (300)	0.5 (300)
시스템 에너지효율	% (LHV), kWh/kg	72, 46	77, 44
스택 에너지 효율	% (LHV), kWh/kg	76, 44	77, 43
전기단가	$/kWh	0.06	0.037

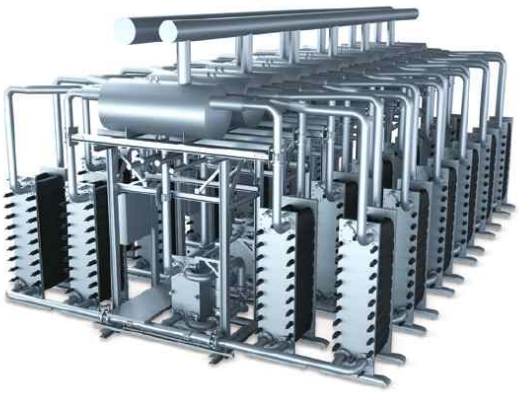
- **(유럽)** 유럽내에서 대표적인 수전해설비 업체는 H2Gen (독일, Air Liquide사로 인수), Diamond Lite, IHT 사 (스위스), Enapter (이탈리아), GreenHydrogen (덴마크), H-Tec Systems, Hydrogenic, iGas energy (독일) 등이 대표적임. 그중에서 IHT사는 750 Nm3/hr을 상용화함으로써 가장 대형 모듈화에 성공한 바 있음
- **(미국)** 가장 대표적인 기업으로 지멘스(Siemens) 사가 있으며, Giner ELX사, nel 사가 있음. 그중에서 nel 사는 세계에서 가장 큰 수전해 플랜트를 건설한 바 있음. 단, 이 수전해의 목적은 암모니아 제조를 위한 것으로 1991년, 30,000 Nm^3/hr 규모로 건설되었음. Siemens사는 PEM 수전해 기술에 더 초점을 맞추어 개발하고 있음. 특히 Siemens사는 수소의 순도 면에서 nel사보다 우위에 있으며, 효율 면에서도 최고의 효율을 나타냄.
- **(효율)** 대용량 생산시 Siemens의 수전해 시스템이 약 75%까지의 효율성을 보이는 것으로 조사되나, DOE 타겟의 2020년 목표 효율성 달성을 위해서는 추가 기술개발이 필요함.

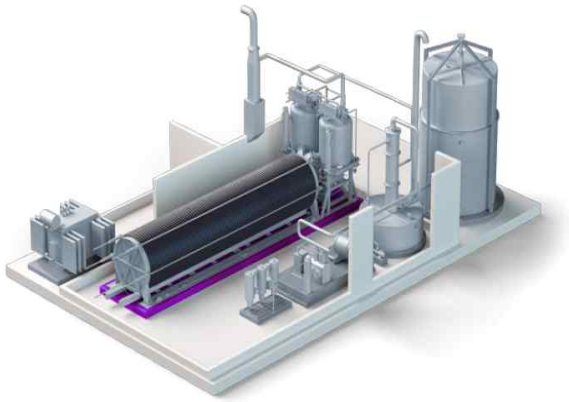


- 대용량 스택
- 760 Nm^3/hr 의 단일 스택

- 소형에서 중형모델까지 개발
- 15~100 Nm^3/hr 규모

그림 2.35. 유럽의 대표적인 수전해 시스템 (좌: IHT, 우: Hydrogenic)





- 수소 생산 규모 중형에서 대형까지 개발
- 100~2,000 kg/hr의 플랜트 규모
- 플랜트 효율 75%
- 수소 순도 : 99.999%

- 수소 생산 규모 중형모델까지 개발
- 50~485 Nm^3/hr 규모
- 순도 99.9 %

그림 2.36. 미국의 대표적인 수전해 시스템 (좌: Siemens, 우: nel)

○ 추출수소 생산기술

- 추출수소는 기존 수소 산업에서 전세계 수소 생산량의 절반이상을 담당하는 기술로 수소산업에 대한 큰 축을 차지함
- 1780년 Felice Fontana에 의해 수증기가 500℃ 이상의 온도로 탄소를 통과할 경우 H2와 CO가 생성되는 현상이 발견된 것이 시초가 됨
- 총 4가지의 방식, 수증기 추출 (Steam Reforming), 드라이 추출 (Dry Reforming), 부분 산화 (Partial Oxidation), 자열 추출 (Autothermal Reforming)로 구성되며, 대표적인 것이 수증기 추출임
- 각 추출공정에 대한 장단점 등이 표 2.7에 정리되어 있음. 수증기 추출은 흡열반응으로 높은 온도에서 반응이 발생하므로 경제적으로 단점이 있어 다양한 방식이 개발된 것임
- **(드라이 추출)** 이 방식의 유일한 장점은 CO2를 순환함으로써 온실가스를 저감할 수 있다는 것이며, 흡열반응으로 높은 에너지 소모량과 함께, 코크스가 촉매 표면에 침착되어 촉매 수명을 단축시키는 결정적인 단점이 존재
- **(부분 산화)** 이 반응은 발열반응이므로 습식 혹은 건식에 비해 에너지 소모량면에서 장점이 있음. 그러나 반응에 산소가 요구되기 때문에 운전조절을 못할 경우 폭발의 위험성이 존재함.
- **(지열 추출)** 이 반응은 습식 추출과 부분산화를 동시에 진행시키는 공정으로 에너지 소모량을 감소시키기 위해 개발됨. 즉 부분산화에서 발생되는 열을 습식산화에 연계하기 위해 고려된 것임. 가장 단점으로 수소와 CO의 비가 최종적으로 1:2가 될만큼 수소 생산 면에서 효율이 좋지 못함
- 대부분의 대형 플랜트는 안정화되지 못한 기술로 인하여 습식추출에 의해 수소가 생성이 되고 있음.
- **(메이저 기업)** Caloric Anlagenbau, Haldor Topsoe, Harvest Energy Technology (Air Products), Air Liquide, HyGear, Linde, Mahler 등 대부분의 수소 생산과 관련된 메이저 업체가 핵심기술을 소유하고 있음

· Haldor Topsoe사는 라이센스를 주고 한국의 제이엔케이히터사와 함께 오만에 대형 추출기를 설치한 바 있음

- **(On-Site 추출기)** 수소 스테이션에 사용되는 소형 개질기를 의미하며, 그림 2.38과 같은 구조 중에서 추출 공정을 담당함.

표 2.7. 천연가스 추출 방식의 비교
(이, 수소생산의 필요한 개질기술 소개, 한국가스신문, 2019 & Neiva, L.S. and Gama, L, Importance of natural gas reforming, www.intechopen.com)

방식	화학반응	장점	단점
Steam reforming	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	– 고순도 수소생산 – 높은 효율 – 안정화된 기술	– 높은 에너지 사용량 – 긴 초기 운전시간
Dry Reforming	$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$	– CO_2 제거	– 높은 CO 농도 – 높은 반응온도 – 낮은 효율 및 높은 에너지 사용량
Partial Oxidation	$CH_4 + 1/2O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	– 낮은 온도 – 짧은 초기 운전시간 – 낮은 에너지 사용량	– 낮은 수소 순도 – 낮은 효율 – 운전제거가 어려움
Autothermal Reforming	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ $CH_4 + 1/2O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	– 짧은 초기 운전시간 – 열 관리 용이	– 낮은 수소 농도 – 운전제어가 어려움

· 그림 2.37은 대표적인 on-site용 수소 추출기의 예를 나타낸 것으로 각각 Osaka Gas사와 MKK사의 모델을 나타냄. 가장 큰 것으로 300 Nm^3/hr이 있으며, 약 648 kg/d를 생산할 수 있는 모델임
· **(일본)** 이미 수소 사회를 천명한 바가 있어 여러 기업에서 수소 충전소용 개질기를 상용화하였으며, 자체 충전소 구축에 사용되고 있음.
· **(유럽)** 네덜란드의 HyGear사가 대표적으로 충전소용 수소추출기를 개발하였으며, 프랑스의 Air Liquide 사, 영국의 Linde 사, 노르웨이 nel 사 등이 메이저 그룹으로 기술을 소유하고 있음.
· **(미국)** 대표적인 회사로 Air Products사가 있으며, on-site용으로 약 5000 Nm^3/hr 규모까지 생산

HYSERVE (Osaka Gas)

HYSERVE-300

Model	HYSERVE-30	HYSERVE-100	HYSERVE-300
H_2 production capacity	30 Nm^3/h	100 Nm^3/h	300 Nm^3/h
Feedstock	City gas (13A), LPG		
H_2 purity	99.999 vol.% or higher		
H_2 (product) pressure	0.70 MPaG or less		
Installation space (W m x D m x H m)	2.5×2.0×2.5	3.8×2.6×2.8	7.5×3.0×3.3

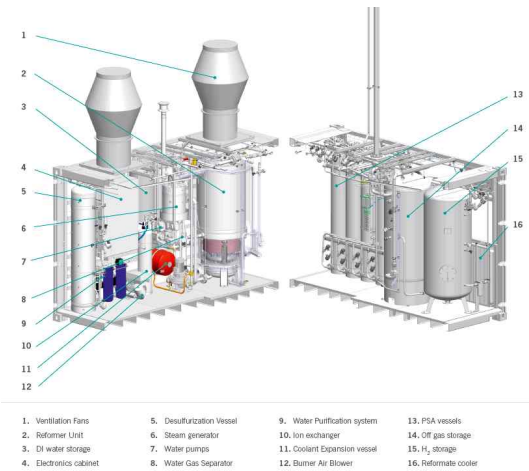
HyGeia (MKK)

HyGeia-A

Model	TM	HyGeia	HyGeia-A
H_2 production capacity	40 Nm^3/h	200 Nm^3/h	300 Nm^3/h
Feedstock	City gas (13A), LPG		
H_2 purity	99.999 vol.% or higher		
H_2 (product) pressure	0.70 MPaG or less		
Installation space (W m x D m x H m)	-	-	7.5 x 3.2 x 3

100 Nm^3/h = 214 kg/day = 78 ton/yr

그림 2.37. 일본의 대표적인 on-site형 수소 추출기



- 소형위주로 충전소용 개질 모델 개발
- 5~100 Nm^3/hr 규모
- 순도 99.999%의 수소를 생산

- 소형에서 중형모델까지 개발
- 165~1000 Nm^3/hr 규모
- 순도 99.999%의 수소를 생산

그림 2.38. 유럽의 대표적인 on-site형 수소 추출기 (좌: HyGear, 우: Linde)

그림 2.39. 미국의 대표적인 on-site형 수소 추출기 (AIr Products 사)

○ CO_2 발생 문제

- 추출공정에 있어 가장 핵심적인 문제는 수소의 활용이 온실가스 저감이라는 목적과는 달리 CO_2를 필연적으로 발생시킨다는 것임
  · CO_2 방출량은 **수소의 소스원, 시스템 효율**, 시스템내 펌프 운전 등의 **전력소스** 등에 의해 결정됨
  · 그림 2.40는 수소 생산량 대비 전력사용량에 따른 CO_2 발생량을 비교한 것으로 신재생에너지를 활용한 전력(0 g CO_2/kWh)으로 수소를 생산할 때, 약 90 g CO_2/MJ이 발생하는 것을 알 수 있음. 따라서 기본적으로 추출기 운영시 천연가스에서 수소를 만들면 기본적으로 CO_2가 방출될 수 밖에 없는 구조임
  · 그림 2.41은 추출기 효율에 따른 CO_2 방출량으로 당연히 효율이 높을수록 CO_2 발생량은 낮아짐
  · 표 2.8은 추출기내 수소의 소스별로 발생되는 CO_2 발생량으로 천연가스 개질이 가장 높게 나타나며, BIO-DME를 소스로 사용했을 때가 가장 낮게 모델링 되었음. 따라서 수소의 소스를 바이오가스, 음식물 폐기물에서 발생되는 바이오가스 등으로 zero commision을 맞추는 방법은 도시에서 고려될만한 첫 번째 방법임
  · 천연가스 추출을 통해 수소를 생산하는 방법은 연료로서 디젤 혹은 가솔린에 비해 CO_2 발생량이 높다는 점은 수소 교통을 운영함에 있어 치명적인 약점이 될 수 밖에 없으며, 따라서 바이오가스 혹은 수전해 방식으로의 전환은 필연적일 수 밖에 없음

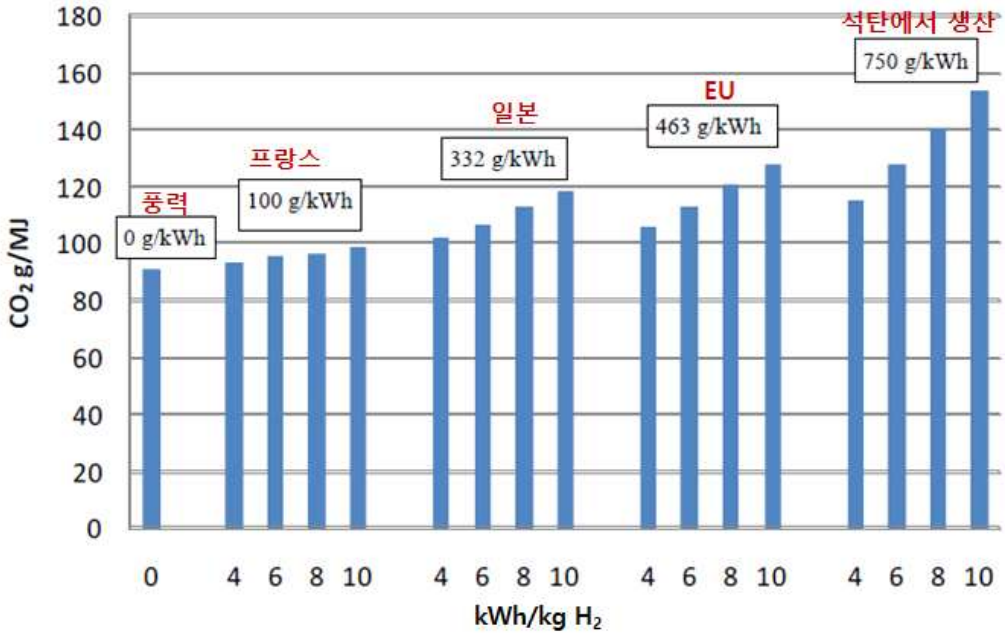


그림 2.40. 각 국가별 전력당 CO_2 방출량을 고려한 수소생산시 CO_2 방출
(조건: 수소 1kg 생산시 4, 6, 8, 10 kWh 소모, 추출기 효율 70%)
(IEA-HIA Task 23 Small-scale Reformers for On-site Hydrogen Supply, 2006-2011, Final report)

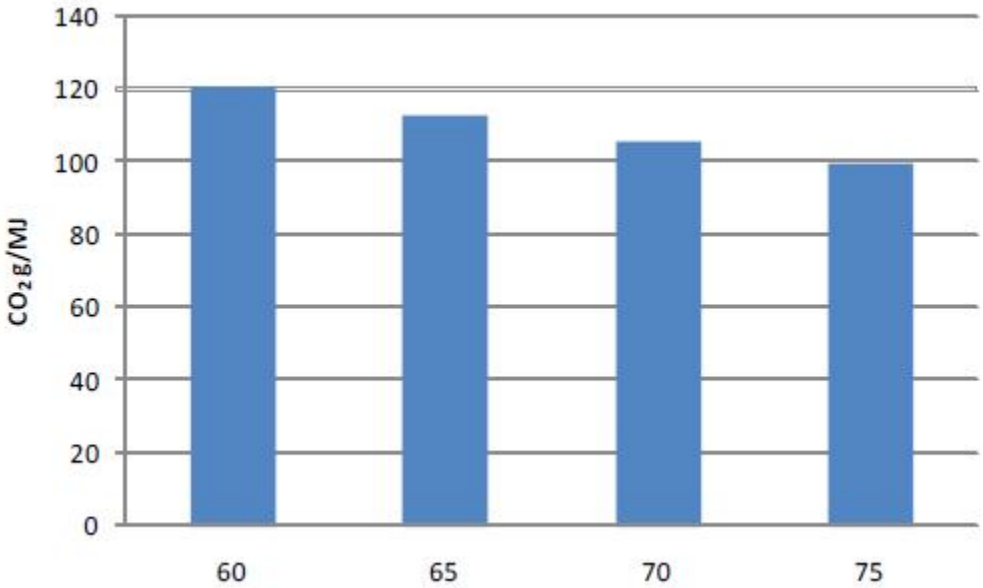


그림 2.41. 추출기 효율별 CO_2 발생량 모델링
(IEA-HIA Task 23 Small-scale Reformers for On-site Hydrogen Supply, 2006-2011, Final report)

표 2.8. 원재료 소스별 수소 생산시 CO2 방출량 비교 (추출기 효율 70% 기준)
(EA-HIA Task 23 Small-scale Reformers for On-site Hydrogen Supply, 2006-2011, Final report)

연료	CO_2 발생 (g/MJ)	소스
Hydrogen	118	From natural gas, LNG supply
Hydrogen	106	From natural gas, gaseous supply
Hydrogen	91	From natural gas, renewable electricity
Diesel	88	
Gasoline	86	
CNG	76	compressed natural gas, LNG supply
CNG	66	compressed natural gas, gaseous supply
Hydrogen	38	from biogas
Hydrogen	23	from biogas, renewable electricity
Hydrogen	19	from bio-DME
CBG	16	compressed biogas
Hydrogen	4	from bio-DME, renewable electricity
DME	2	when used as diesed fuel

❍ Carbon capture and storage (CCS) 공정

- 일반적으로 온실가스 저감을 위해서 CCS 공정이 대형 플랜트 위주로 설치되어 있으며, 포집기술은 연소후 포집, 연소전 포집, 순산소 연소 기술 등으로 분류됨
  · (연소 후 포집) 연소공정 이후 이산화탄소를 포집
  · (연소 전 포집) 연소공정 전에 가스화 혹은 부분산화를 통해서 포집
  · (순산소 연소) 연소시 고순도의 산도를 주입하여 질소산화물 배출방지하고 포집
- 온실가스 이슈로 인하여 CCS공정은 선진국에서 다양하게 개발된 상황이나, 이는 대형 플랜트 위주로 개발되어 있음.
  · 수소 충전소는 이런 대형 플랜트에서 적용되는 기술 사용이 어렵기 때문에 추가적인 기술 개발이 요구됨

- CCS의 기본 기술은 흡수와 막에 의한 분리로 구성되며, 대표적으로 Alkanol-amine을 기본으로 하는 용매에 의한 CO_2 흡수공정으로 통상적으로 Amine 공정으로 알려짐. 고체 흡수제는 물리적, 화학적 흡착에 의한 CO_2 분리를 원리로 하는 공정으로 일반적으로 운전온도에 따라 구분함.

· 고온 (700-900℃) CaO 계열 흡착제, 중온 (600-750℃) Li2ZrO3 계열 흡착제 그리고 저온 (400℃) 하이드로 탈 사이트 그룹 흡착제로 구분됨

· PSA (Pressure Swing Adsorption) 공정 : 기체혼합물이 고압상태로 흡착제가 채워진 공정내로 통과함에 따라 흡착이되고, 흡착탑 내 압력을 떨어뜨려 흡착성분을 제거하는 고압 고정 흡착 공정을 말함. 대표적으로 제철소내 부생가스에서 수소 회수 공정에 활용되며, 그림 2.42에서와 같이 on-site 충전소에서 고순도의 수소를 얻기 위해 사용. CO_2는 이 공정을 통과되고 순도가 높아짐

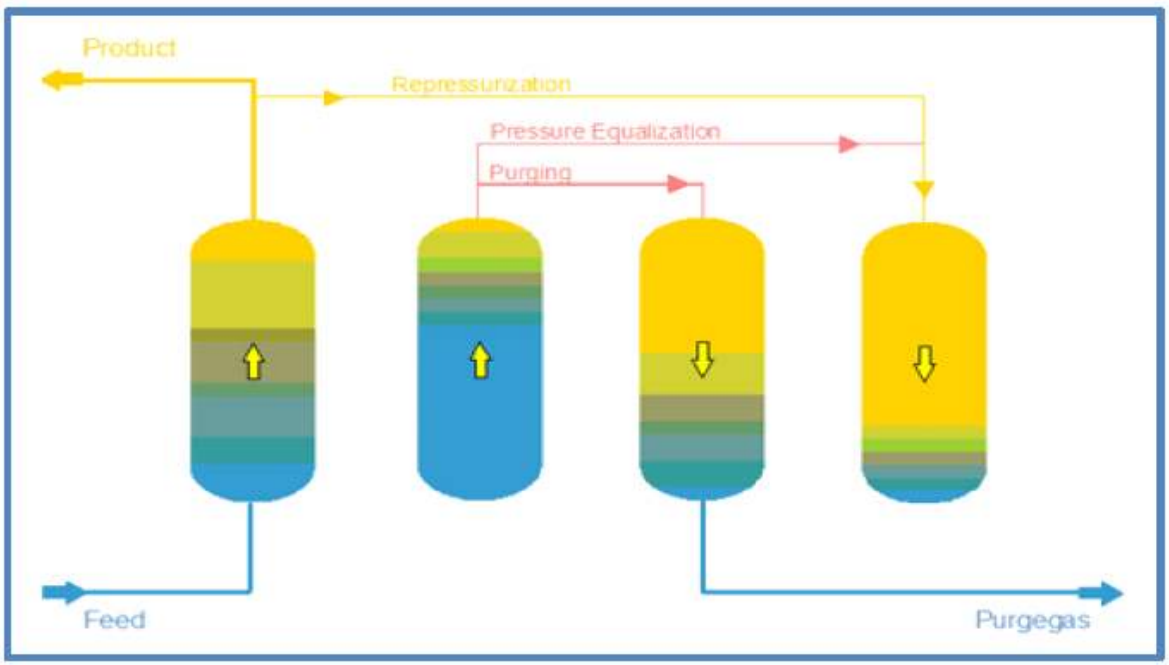


그림 2.42. PSA (Pressure Swing Adsorption) 공정 모식도
(http://sepapuri.yonsei.ac.kr/research_topic.pdf)

- **(on-site 추출기의 CCS 공정)** 대표적으로 on-site 추출기에서 CO_2 소스는 PSA 공정에서 배출된 가스이며, 이외에도 열 제공을 위한 연소 가스에서도 배출됨. 일반적으로 PSA 공정을 통해서 수소를 흡착하고 남은 CO_2 가스를 고순도로 배출하고 이를 다양한 방식으로 저장하는 옵션이 필요함

· **(CO_2 액화공정과 on-site 추출기의 시스템)** 일반적으로는 그림 2.43의 위에 있는 것과 같이 WSG공정과 PSA공정을 거쳐 고순도의 수소와 CO_2를 생산한 이후 CO_2를 액화시키는 공정을 시스템화함. 그러나 이를 개선하기 위한 일본에서 개발된 새로운 기술로 Membrane reformer system과 CO2 liquefaction system의 조합이 있음. 일본의 토쿄 가스사에 의해 개발된 시스템으로 현재 실증화 중에 있음. 현재까지 결과는 기본 추출기 + PSA 공정에 비해 높은 효율과 높은 순도의 CO2를 만들 수 있음. 또한 PSA공정 생략에 따른 공정 효율화로 인하여 전체 시스템으로 볼 때 현 시스템중 가장 높은 81.4 %의 에너지 효율을 나타내는 것으로 조사됨

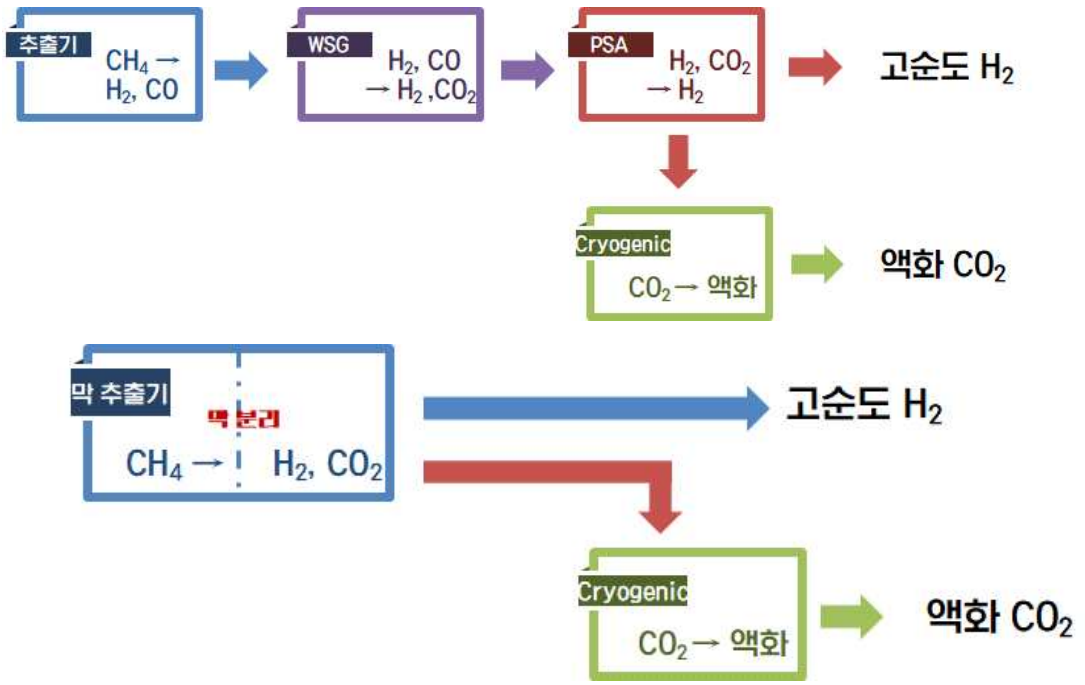


그림 2.43. 수소충전소용 CO_2 액화 기술과 수소 추출기 공정의 시스템화
(위: 일반적인 수소충전소용 CCS의 구성, 아래: 막 추출기에서의 CCS 구성)
(IEA-HIA Task 23 Small-scale Reformers for On-site Hydrogen Supply, 2006-2011, Final report)

○ 천연가스 열분해와 탄소 재활용

- **(대안기술)** 추출시 발생되는 CO_2를 해결하고자 하는 이슈가 제기됨에 따라서 다양한 공정기술에 대해 연구 중임. 대표적으로 천연가스 열분해가 있으며, 이는 천연가스의 열분해를 통해서 순수 탄소와 수소를 생산하고 순수 탄소를 활용해서 그래핀 등의 고부가가치 상품으로 제조하는 방식을 의미

· (천연가스 열분해) 천연가스를 열분해함으로써 수소와 순수 탄소를 만드는 공정

· 반응식 : $CH_4 \rightarrow 2H_2 + C$ (그래핀 화)

· 열분해에 요구되는 에너지 량을 그래핀 판매로 보완함. 비록 다양한 실증프로그램 중이라 하더라도 그래핀 외적으로 카본파이버, 탄소나노튜브, 니들코크스 등을 상용품으로 제작하는 방안 연구 중임
· 그림 2.44는 Hazer 기업의 천연가스 열분해를 통해 수소와 그래핀을 만드는 컨셉을 나타낸 것임

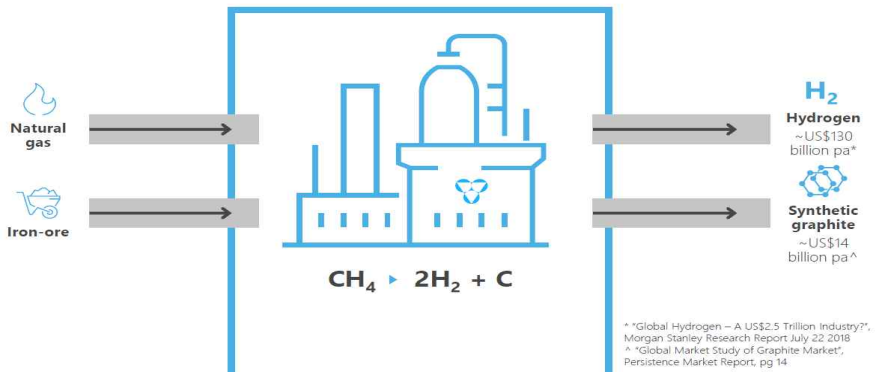


그림 2.44 Hydrogen Production Disruption, HAZER GROUP LTD, 2018.

· 그림 2.45는 수전해, SMR 그리고 열분해간에 방출되는 CO_2량을 비교한 것으로 열분해가 가장 낮은 CO_2를 방출하는 것을 보여줌. 수전해는 생산 단가가 가장 높은 기법으로 신재생에너지와 결합될 때 CO2 저감이 가능하다는 것을 보여주고 있으며, 기존 전력을 활용할 경우 경제적으로도 단점이라는 것을 알 수 있음
· 단 천연가스 열분해 기술은 프로세스 효율과 저순도의 수소 생산, SMR에 비해 높은 수소 단가 등의 문제점을 해결해야 상업적 성공을 가질 수 있으므로 이에 대한 연구가 지속적으로 진행 중에 있음

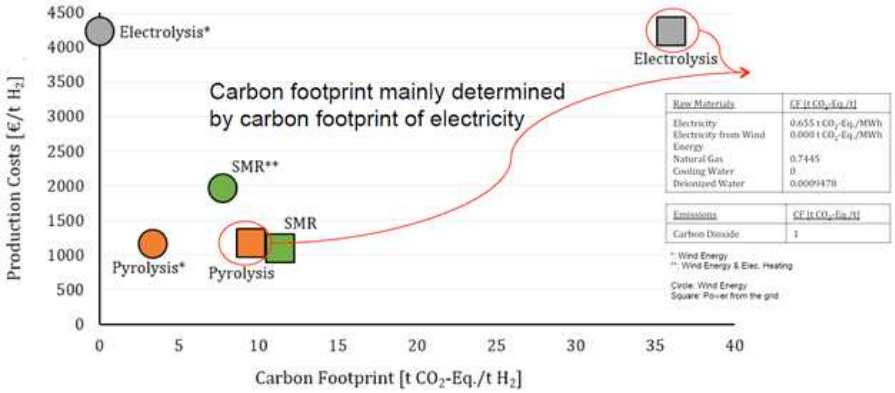


그림 2.45. 수전해와 추출수소, 열분해 기술의 CO_2 발생량 비교
(*Wind energy, **wind energy+electric heating, ○:Wind energy, □: General power)
(Gedik, A., Bode, A., Marquardt, T., Kabelac,S., Influence of different hydrogen production processes on carbon footprint and cost of selected chemicals, O-BASF, 2018)

○ **(신재생에너지와 수선해 기술)** 궁극적으로는 CO_2 Free라는 구체적인 목표 달성을 위해 신재생에너지와 수전해 기술 조합이 필요함

– (궁극적인 목표) 수소가 에너지의 저장과 Carrier로서의 역할과 온실가스 저감의 목표 달성을 위해서는 궁극적으로 신재생에너지와의 기술 조합이 필요함

· 일본, 유럽을 포함한 많은 국가에서 이러한 궁극적인 목적을 위해 장기적으로 신재생에너지와 수전해 기술을 조합하여 실시함

– **(신재생에너지의 경제성)** 신재생에너지 활용은 기후변화에 따른 CO_2 저감에 대한 필요성 증대와 이와 함께 미국, 유럽, 중동지역을 중심으로 전력 생산단가가 극적으로 낮아지는 추세로 인한 것임

· 현재 국내 산업용 전력비가 약 110 원/kWh 내외임을 감안하면, 전세계 태양광과 풍력에 의한 생산단가는 이미 국내보다 낮아진 상황을 그림 2.46은 보여주고 있음

· **(발전단가)** `18년 기준 멕시코에서 풍력 발전단가 21원/kWh (`19.05기준), 마찬가지로 UAE에서 같은 발전단가로 태양광 발전을 실시한 바 있음. 이러한 단가는 현 국내 기준으로 5배 낮은 단가임

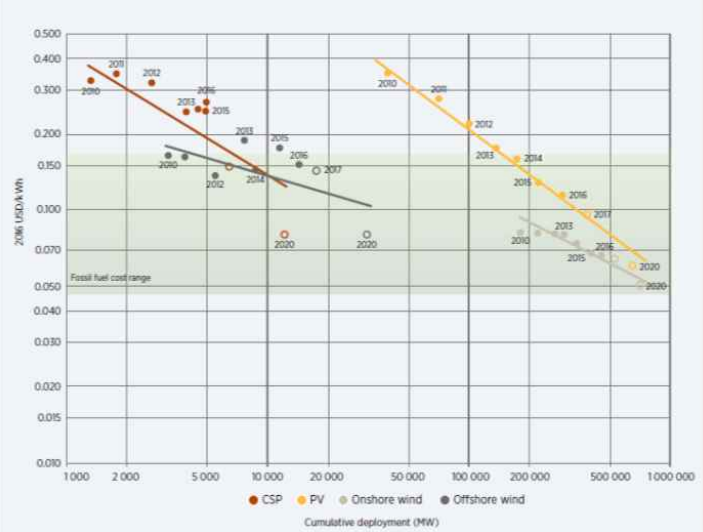


그림 2.46. 풍력과 태양광 에너지 생산단가 및 예측
(Renewable Power Genergation Cost in 2017, IRENA)

– (신재생에너지와 수소 생산) 신재생에너지 전력 생산 비용이 낮아짐에 따라서 지속적인 활용을 위한 저장 방식이 요구되고 있으며, 이는 배터리와 수소 생산을 통한 저장으로 귀결되고 있는 상황임

· 수소는 그림 2.47에서 볼 수 있는 것처럼 대용량 생산을 통한 저장이 유리하며, 특히 장기간 보존이 가능하므로 그리드에서 저장 효율이 좋다는 장점이 있음.

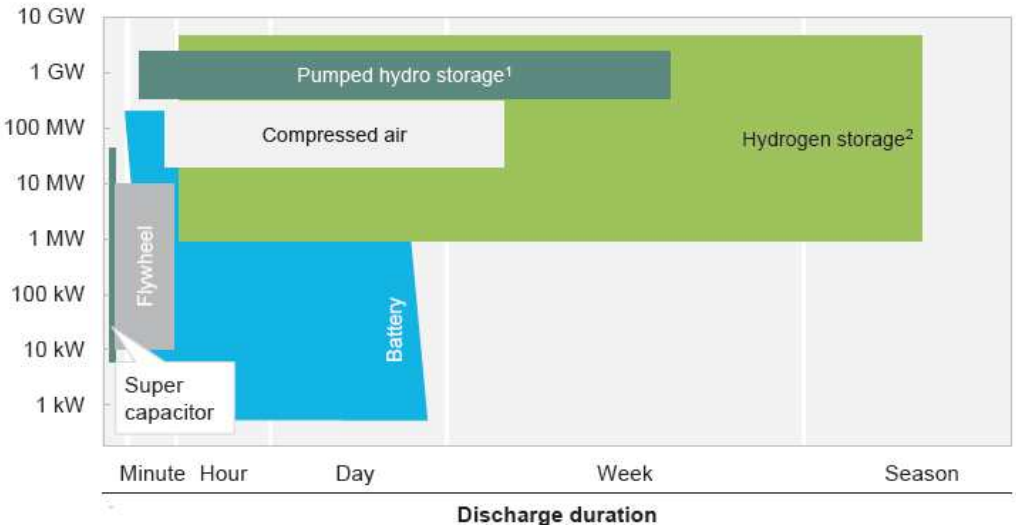


그림 2.47. 전력 저장 수단의 용량 비교
(Technology Brief: Analysis of Current-Day Commercial Electrolyzers, NREL, www.nrel.gov)

· 따라서 수소 생산에 대한 요구는 커지고 있으며, 수소생산은 전력 단가에 비례하므로 신재생에너지 단가 저하에 따라서 경제성이 좌우됨

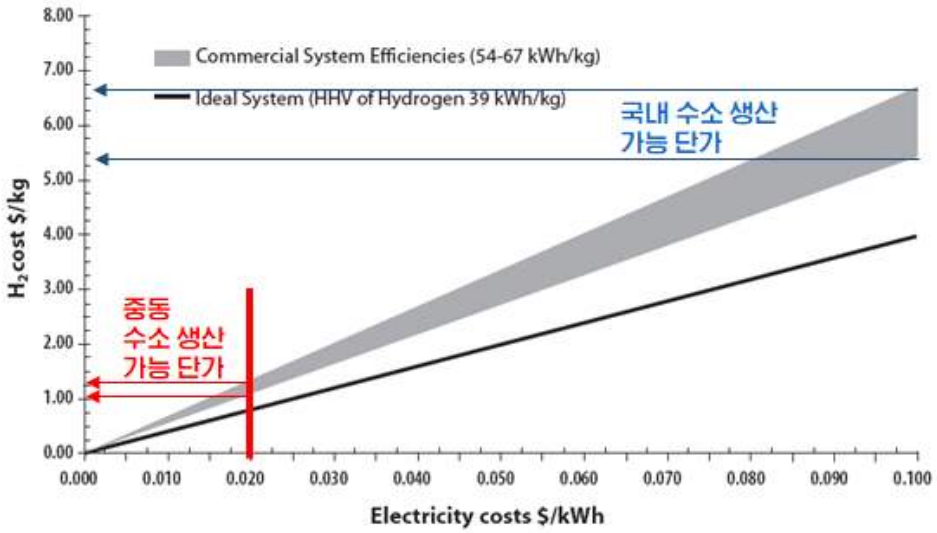


그림 2.48. 전력 단가에 따른 수소 생산가능 단가 범위
(Technology Brief: Analysis of Current-Day Commercial Electrolyzers, NREL, www.nrel.gov)

· 그림 2.48은 중동지역에서 태양광 전력단가와 국내 전력단가 범위에서 수전해를 통해 수소를 생산할 때를 비교한 것으로 약 5배의 차이를 나타내는 것으로 예측됨

○ 저장기술

- (수소 에너지 저장) 수소 저장기술은 압축저장, 액화저장, 금속저장, 그리고 지하저장으로 구분되고 있음.

· 수소의 저장 개념은 이송 수단과 직접적으로 연계되어 고민이 되는 경우가 대다수이며, 실질적으로 저장 방식으로서 고려되는 것은 지하 저장 기술 외에는 대용량 저장수단으로서 기체고압압축에 따른 위험성 및 낮은 저장 밀도로 인하여 액화기술이 고려되고 있음

· 액화기술이 기술적 완성도 부족으로 인하여 극저온 압축기술 (Cryo-Compressed Hydrogen) 이 추가로 고려되고 있는 상황이나 이것도 아직까지 소용량으로 구분될 수 있음

- (수소 저장기술 목표) 현재 수소저장 기술은 수소자동차 정책과 맞물려 700bar 기체 압축기술이 상용화되어 있으며, 극저온 500bar 압축기술이 실증 중에 있음. 그 외 액화기술은 아직까지 몇몇 기업만이 소유하고 있으며, 보관 용기와 손실률저하를 위한 기술개발 중에 있음. 표 2.9는 DOE에서 타겟으로 하고 있는 목표와 현재까지 기술개발 중인 기술들을 요약한 것임

표 2.9. DOE 목표와 저장기술의 현황

저장기술	효 율		경제성	조사	`20년 목표			`25년 목표			최종목표		
	(kWh/kg)	(kWh/L)	($/kWh)	년도	(kWh/kg)	(kWh/L)	($/kWh)	(kWh/kg)	(kWh/L)	($/kWh)	(kWh/kg)	(kWh/L)	($/kWh)
700 bar (기체)	1.4	0.8	**15**	`15	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**
350 bar (기체)	1.8	0.6	**13**	`13	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**
극저온 (500 bar)	2.3	1.4	**18**	`17	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**
$NaAlH_{4/Ti}$	0.4	0.4	**43**	`16	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**
Sorbent	1.3	0.7	**15**	`16	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**
ABliquid	1.5	1.3	**17**	`16	1.5	1.0	**10**	1.8	1.3	**9**	2.2	1.7	**8**

- (기체압축기술의 현황) 350 bar, 700 bar, 극저온 압축기술 등의 3가지 기술로 구분되며, 일반적으로 튜브트레일러와 맞물려서 350bar 내외로 압축하여 저장용기에 저장되고 있음

· 전세계적으로 350, 700 bar기술이 상용화되었으며, 현재 1,000 bar의 압축저장에 대한 기술개발이 이루어지고 있음
· 표 2.11은 각 기술 방식별 에너지 손실율을 비교한 것으로 액화수소 저장방식의 에너지 손실율이 높다는 것을 알 수 있음

표 2.10. 각 저장방식별 현황 및 장단점

기술	설명	장/단점
압축 방식		
저압탱크	– 부가적인 압력 없이 수소 저장	– 기술의 정립이 우수 – 낮은 에너지 밀도
	– 2.77 kg/m^3 (30–35 bar, 25℃) – 3.95–10.9 kg/m^3 (50–150 bar, 25℃)	– PEM을 통한 생산 압력 – 0.2–0.8 kWh/kg
고압탱크	고압하에 수소를 저장하며, 압력정도에 따라 cylinder 형과 composite 형으로 구분	– 기술의 정립이 우수 – 낮은 밀도와 추가 에너지 소요
	– 23 kg/m^3 (350 bar, 25℃)	4.4 kWh/kg
지하저장	지하의 암반 층에 구멍을 뚫어서 저장	– 낮은압력과 저비용으로 많은 부피저장 – 지형적 요인에 의존
액화 방식		
극저온 탱크	– 253℃ 조건에서 수소를 저장	– 높은 에너지 밀도 – 기화에 의한 손실이 많음 – 경제적인 단점
	70.8 kg/m^3 (1 bar, –253℃)	10–13kWh/kg
저온압축	저온과 300bar의 고압에서 저장	– 높은 저장 밀도 – 기화에 의한 손실이 적음 – 경제적 단점
기타		
암모니아	수소를 암모니아로 전환하여 저장	– 이미 있는 정립된 기술 – 높은 수소의 밀도 – 이론적인 효율성의 제한 – 전환을 위한 에너지 소요 – 독성물질
	121 kg/m3 (1 bar, –33℃)	2–3 kWh/kg (단 다시 수소전환시 약 8kWh/kg 소요)

표 2.11. 여러 저장 방식의 효율과 에너지 손질율

(Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Aroorv Gupta, SWEDEN, 2017)

기술	수소에너지 활용률	저장을 위한 에너지 요구 (저장된 수소에너지의 %)		전체 효율	
	25℃ 기준	이론적 (%)	기술현황 (%)	이론적	기술현황
200 bar	100%	5.4	10	94.9	91
800 bar	100	7.3	15.5	93.2	87
액화	~ 100%	11.8	40	89.4	71
물리적 hydride	88% (100%, 50℃)	3	5	85.4% (97%, 50℃)	84% (95%, 50℃)
MgH_2	69.2% (100%, 300℃)	0	5	69.2% (100%, 300℃)	66% (95%, 300℃)
Mg_2NiH_4	73.3% (100%, 255℃)	0	5	73.3% (100%, 255℃)	70% (95%, 255℃)
$NaAlH_4$	83.5% (100%, 150℃)	4.8	8	79.7% (95%, 150℃)	77% (93%, 150℃)
$NaBH_4$+물	100%	22	매우 큼	82	아주 낮음

- 표 2.11은 현재 상황에서 기체압축 기술이 활성화된 이유가 손실율과 경제성에 있다는 것을 알려주고 있음. 화합물 형태는 추가적인 에너지 손실과 수소 활용을 100% 할 수 없는 단점이 크며, 액화는 에너지 손실율이 타 기술에 비해 높기 때문에 시스템 효율이 낮아진다는 단점이 있음
- 그림 2.49는 미국에서 분석한 배터리와 저장 방식에 대한 경제성 평가를 진행한 것으로 소규모에서 배터리가 유리하나, 1일 이상의 저장용량이 필요할 때는 지하저장 기술이 가장 경제적임을 알 수 있음
- 지하 저장 기술은 국가의 환경적 요인, 풍부한 대수층, 소금 동굴 등에 의해 결정되며, 미국, 유럽을 중심으로 직접적으로 검토되고 있는 상황임. 일반적으로 이 기술은 천연가스 저장기술로서 활용되던 것을 수소 저장에 응용하는 것임

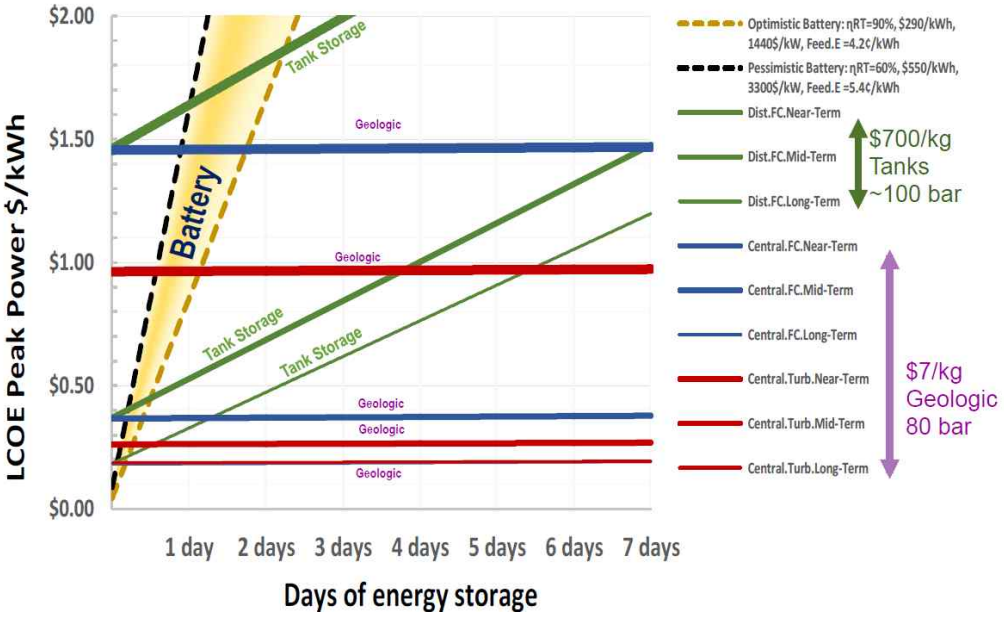


그림 2.49. 저장 방식, 저장용량 별 경제성
(Gardiner, M.R., Hydrogen for Energy Storage, Hannover Messe 2014)

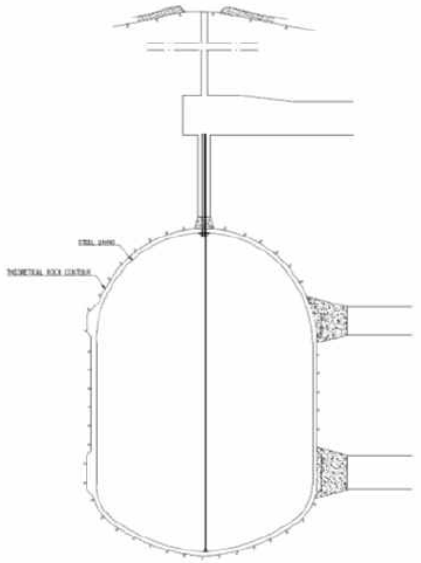
– (지하저장기술 현황) 지하저장은 수소 가스를 가스상태로 대수층 혹은 소금 동굴에 저장하는 방식으로 기본적으로 200 bar내외의 압력에 결딜 수 있는 구조의 동굴내에 저장하는 방식임. 따라서 단단한 바위층으로 구성을 선호함

· 많은 유럽 국가에서 지하저장 기술에 대해 연구한 바 있으나, 1990년 이전에는 100% 수소저장 보다는 혼합가스 저장 방식으로 연구됨.

· 대표적인 국가로 영국, 독일, 미국, 프랑스, 호주 등이 있으며, 특히 독일, 프랑스, 벨기에, 체코슬로바키아, 폴란드 등의 유럽을 중심으로 1990년 이전, 수소저장이 지하에 저장하는 방식을 많이 연구함, 독일은 총 13개의 대수층 저장고 중에서 8개, 필드저장 15개중 3개, 19개의 동굴 저장 중 2개가 수소저장이 되었었음. 현재는 천연가스 저장고로 활용되거나 폐쇄조치된 상황임

· (Lined Rock Cavern, LRC 방식) 스웨덴에서 대표적으로 LRC 저장 방식을 증명함. Skallen 설비의 특징으로 200 bar의 내구성과 50,000 -150,000 m3이상의 저장 공간, 1주단위의 수소가스 주기, 30년 이상의 수명 등의 조건으로 설치해야하며, 지하 깊은 곳에 설치하는 것에 비해 높은 기밀성 유지가 관건임. 이 개념은 이미 1980년대부터 개발된 것임

· (소금동굴) 미국과 영국, 유럽 등에서 연구 혹은 활용 중에 있으며, 영국에서는 이미 1972년 이러한 기술에 대해 고민한 바 있음. 표 2.12는 미국과 영국에서 실시된 대표적인 소금 동굴 저장에 대해서 비교한 것임. 소금 동굴의 장점은 높은 기밀성에 있음



Total gas volume	10 MNm^3
Geometrical volume	40 000 m^3
Diameter	35 m
Height	51 m
Pressure	200 bar
Rock cover	115 m
Injection	20 days
Withdrawal	10 days

그림 2.50. LRC 방식의 지하저장 (Sweden, Skallen 지역)
(Johansson, F et al, Investgation of research needs regarding the storage of hydrogen gas in lined rock caverns, Prestudy for Work package 2.3 in HYBRIT Research Program 1, 2018)

표 2.12. 소금 동굴내 수소 저장 사례

(The effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages, Final Report, Netherlands Enerprise Agency, 2017)

항 목	Clemens Dome (미국)	Moss Bluff (미국)	Spindletop (미국)	Teesside (영국)
형태	소금 동굴	소금 동굴	소금 동굴	측상 소금
운영사	ConocoPhilips	Praxair	Air Liquide	Sabic Petrochemiclas
운전일시 (년)	1983	2007	–	1972
동굴부피 (m^3)	580,000	566,000	906,000	210,000
깊이 (m)	1,000	1,200	1,340	365
압력범위 (bar)	70～137	55～152	68～202	45
수소용량 (GWh) (수소총량, ton)	81 (2,400)	123 (3,690)	274 (8,230)	27 (810)
수소 실 볼륨 (Sm^3)	27.3×10^6	41.5×10^6	92.6×10^6	9.12×10^6

· (대수층 저장) 지하수가 없어진 대수층에 대한 저장은 소금동굴보다 많은 양을 저장할 수 있으며, 이미 오랜 역사를 가지고 있어 경제성 확보가 입증된 상황임. 따라서 독일과 프랑스 등에서 활용을 하고 있음
· (세계 사례) 표 2.13은 다양한 방식과 국가에서 사용하고 있는 지하저장 사례임

표 2.13. 전세계 지하저장 사례

(The effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground storages, Final Report, Netherlands Enerprise Agency, 2017)

	방식	수소가스 (%)	압력 (bar)	가스부피 (m^3)	저장능력 (sm^3)	깊이 (m)	운영시기	상황
독일								
Ketzin	대수층	62	-	-	-	200이하	-	×
Kiel	소금동굴	62	80~100	32,000	-	-	-	○
영국								
Teesside	소금동굴	95	50		1,000,000	400	1959	○
미국								
Spindeltop	소금동굴	95	-		-	-	-	○
Clemens Dome	소금동굴	95	70~135	580,000	30,000,000	850	1983	○
Moss Bluff	소금동굴		-		-	-	2007	○
프랑스								
Beynes	대수층	50	-	-	385,000,000	430	1956	○
체코								
Lobodice	대수층	50	90, 34℃	-	-	430	1965	○
아르헨티나								
Diadema (Hychico)	고갈된 가스층	10	10, 50℃	-	-	600	2009	-
호주								
Underground Sun	고갈된 가스층	10	78, 40℃	-	1,150,000	1,000	2015	○

- (주요 저장 기술 기업) 미국, 유럽에서 수소 생산과 관련된 대부분의 기업이 700 bar까지의 저장기술과 이송을 위한 500 bar 튜브트레일러를 가지고 있음. 린데사는 액화기술의 표본을 가지고 있으며, 이는 저장 용기기술에 있어 세계 최고 기술을 소유하고 있기 때문임.

· 수소 기업의 대부분이 수소 충전소와 연계되어 기술개발을 진행함. 이는 수소 충전소까지의 생산과 연계를 의미하며, 전주기적 기술 소유를 하고 있음
· Air Liquide, Linde, nel, Hydrogenic, HydroGen 등이 대표적으로 저장기술을 소유한 기업으로 수소 충전소를 운영하고 있음
· 린데사는 수소액화기술을 가지고 있으며, 액화 기술을 바탕으로 그림 2.18과 같이 수소충전소 컨셉을 제안한 바 있음. 유사한 기업으로 Air Liquide, Praxair, APCI 등이 액화기술을 소유하고 있으며, 대부분 5 ton/d 규모의 실 플랜트를 설치한 경험을 가지고 있음.
· 세계 최고의 액화기술은 아직 상용수준은 아니지만, Cardella는 기술적 에너지 요구량 6 kWh/kg H_2로 감소될 것으로 일반적인 10 kWh/kg H_2에 비해 40% 이상 효율화될 것으로 예측
· 지하 저장 기술 소유 중 대표적인 기업은 Air Liquide 사이며, 미국에서 소금동굴을 이용하여 수소 저장을 하고 있음
· Hydrogenious 사에서 LOHC 기술을 상용화하였으며, 전체 용량은 수소 10 ~ 150 Nm^3/h 저장규모임

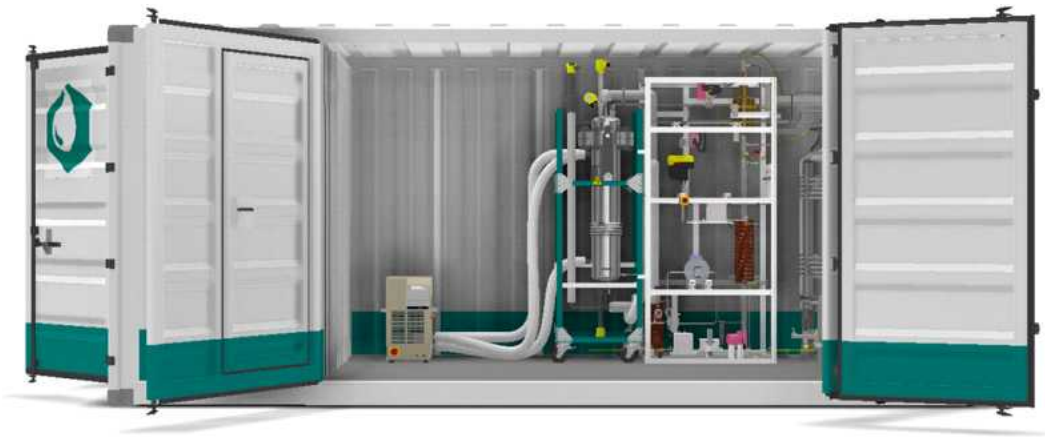


그림 2.51. LOHC 저장기술 (www.hydrogenious.net)

○ 이송기술

– (이송기술) 파이프라인, 기체압축 혹은 액화 튜브트레일러가 주 고려대상이 되고 있으며, 파이프라인이 유럽과 미국을 중심으로 기 운영되고 있음
· 이송기술의 선택은 결국 거리와 운송량에 따라서 결정되는 상황임. 장거리 이송의 경쟁력은 저장 방식과 밀접한 관계가 있어, 그림 2.17에 있는 것처럼 기체 압축 저장 방식일 경우 파이프라인으로 이송이 가장 경쟁력 있으며, 액화기술이 적용될 경우 선박 혹은 철도 이송이 유리함.

- (튜브트레일러) 200 km내외의 짧은 거리 이송과 중앙집중형 수소생산으로부터 적은 량 이송시 활용되는 수단이며, 일반적으로 300 bar내외의 저장용기를 활용하여 6,200 Nm^3를 이송하였음. 현재는 압축기술 발달로 500 bar까지 이송이 가능함.

그림 2.52. Air Liquide 사의 튜브트레일러
(Description of selected FCH systems and infrastructure, relevant safety features and concepts, HYresponse, Final version, 2015)

· 경제성 확보를 위한 핵심 요소로 더 많은 볼륨을 위한 기술과, 가벼운 용기 개발이 필요하며, Lincoln Composites사에서 탄소섬유 기반으로 2,087 kg, 8,400 L, 11.5 m길이의 용기를 개발하였으며, 이는 250 bar 기준으로 기존 기술보다 2~3배의 운송량이 가능한 것임
· 극저온 압축용기는 500 bar에서 150 K를 유지할 수 있는 기술로 LLNL사에서 유리섬유를 기반으로 제조에 성공함. 이는 운송비용 50% 저감이 예상되는 기술임
· (극저온 액화이송 트럭) 이는 같은 기체 압축 수소 이송보다 더 장거리를 이송할 수 있으며, 북미를 중심으로 상용화됨. 일반적으로 400 km이상의 거리에서 수소량이 많을 때 압축가스에 비해 경제적으로 유리함

그림 2.53. Air Liquide 사의 액화수소 튜브트레일러
(Description of selected FCH systems and infrastructure, relevant safety features and concepts, HYresponse, Final version, 2015)

- (파이프 이송) 메이저 그룹으로 Air Liquide, Air Products, Linde, Praxair 등이 있으며, 유럽과 미국을 중심으로 수소용 파이프라인 설치가 지속적으로 연장되고 있음 (유럽 1600 km, 미국 2,575 km). 유럽은 네덜란드, 프랑스, 벨기에, 독일, 영국을 관통하고 있음.
  · 현재 100 bar이하의 압력 (일반적으로 40~70 bar)과 300 mm이하의 파이프라인으로 이용되고 있으며, 재질은 스틸인 경우가 대부분임. 가장 중요한 사항으로 금속 파이프라인과 용접부의 수소 취성, 응력에 따른 연성 및 파열 문제 해결임. 현재 저탄소, 저합금, 저강도 강의 스틸로 된 파이프를 사용 (e.g., API X42 steel with C < 0.2, Mn < 1.3 wt%)
  · FRP 파이프가 경제적인 대안으로 연구중인데, 가볍고, 부식에 강하며, 취성에 강하다는 특징이 있음. 일반적으로 수소 파이프 라인으로 사용될 때, 아라미드 섬유로 둘러싸인 폴리에틸렌으로 구성됨. 아라미드 섬유 포장은 100 bar압력을 견디기 위해서 이며, 미국에서 표준화를 시작하였음
  · 수소 전용 파이프 라인 설치는 초기 투자비가 많이 발생되고, 파이프 라인, 밸브 등이 개발되어야하므로, 기존 천연가스 공급망에 혼합하여 공급하는 방식이 연구 중임
- (배관 공동 주입) 수소 가스를 천연가스 배급망에 공동주입하여 수소를 활용하는 방안으로 HYGRID 프로젝트로 대표되는 연구개발이 진행 중
  · (목적) 천연가스와 혼합한 가스 활용이 아닌, 공동 주입 이후 최종 활용전 수소를 분리할 수 있는 방안에 대한 기술 개발로, 수소 분리 멤브레인 기술이 핵심이 됨. 전체 분리비용 목표를 5 kWh/kg H_2, 1.5€/kg H_2 이하를 목표로 기술개발 중임
  · (내용) 2-10% 이내의 수소가 포함된 가스에서 막분리기술을 적용, 2% 이하의 함량에서 전기적 분리기술이 적용되어 수소자동차 활용이 가능한 수준으로 분리하는 기술로 약 TRL 5 수준으로 파일럿 검증 중에 있음
  · (예산) 2,847,710 € (3,709,540 천원),
  · (컨소시엄) 총 4개국, 네덜란드, 스페인, 이탈리아, 스위스가 공동으로 개발하며, 네덜란드 주도로 에이트호번 대학, TECNALIA (스페인 연구원), HyGear사, HyET Hydrogen BV사, 등이 주축이 됨.
  · (기간) `16.11 - `19. 05

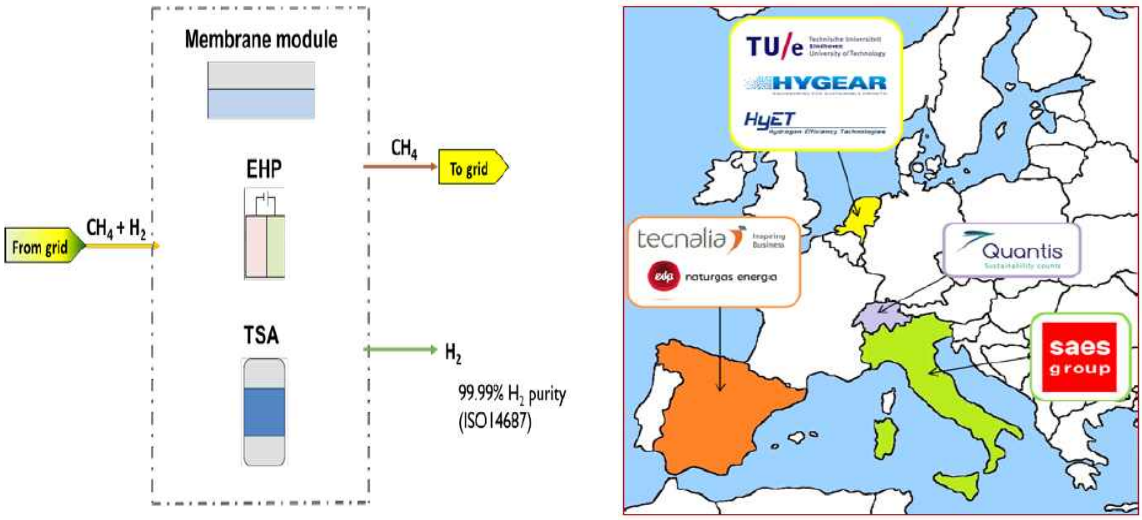


그림 2.54. HYGRID 프로젝트 기술 개요 및 컨소시엄
(Flexible Hybrid separation system for H2 recovery from NG Grides, 2017, http://ec.europa.eu/)

○ 수소 충전소

- 미국은 캘리포니아 주를 통해서 수소 충전소를 구축하여 기술개발 및 시장에 대한 선두권을 고수하고 있음
- 미국을 포함한 유럽, 일본 등 모든 선진국은 수소 사회 구축에 대한 핵심 수소 활성화 정책으로 수소 교통을 중심에 두고 정책을 펴고 있으며, 많은 국가에서 이미 수소 충전소를 활용하여 수소자동차를 운행하고 있는 분야임

*** 국내에서도 상당부분 기술 소유를 통해 운행하는 기술분야임**

- 수소 자동차 내 저장 압력이 350 bar에서 700bar로 전환된 상황에서 압축기술과 디스펜서 기술이 현재 수준의 상용기술로 평가됨
- 따라서 이미 승용차용 수소 충전소 기술은 성숙기술로 성장하고 있는 추세로 평가될 수 있으나, 버스용 충전소 기술은 추가 개발이 필요함.

*** 현재 승용차의 수소 연료보급 표준이 SAE J2601로 되어있음**

- Linde, Air Liquide 사 등은 이미 표준화 기술을 개발하여 2010이후 승용 수소 스테이션을 상용화하여 전세계에 공급였으며, 국내에도 기술을 보급한 바 있음. 특히 Linde사는 액화 수소 충전소 개념을 최초로 도입한 바 있으나, 아직까지 상용화되지는 못함.
- 현재 수소 승용차는 700 bar로 충전되고 있으며, 이는 재 급유시 발생되는 고압까지의 요구되는 시간과 이때 발생되는 열을 냉각하기 위한 -40℃ 예냉에 요구되는 시간으로 인하여 충전시간이 지연됨.

· 이러한 지연시간 단축을 위해 정압 저장장치를 개발하였으나, 이를 위해서는 많은 전기가 요구되는 단점이 존재함.

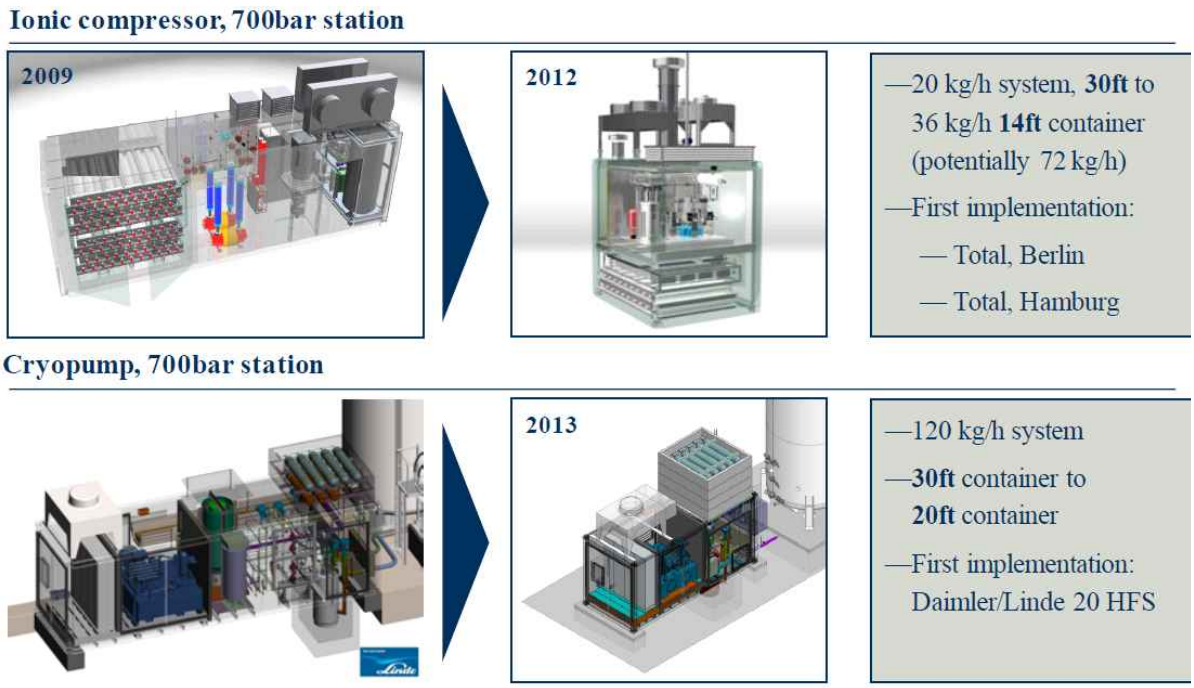


그림 2.55. 린데사의 수소충전소 모델 및 성능
(Zorn, T., Innovation & Experience. Hydrogen Technology and Infrastructiure, Linde Group,)

– (버스용과 승용차용의 차이점) 버스용 충전을 위해서는 기본 승용차용에 비해 많은 연료보급이 필요하므로 승용차용 수소 충전소를 활용할 경우 장시간이 걸리는 단점과 버스에 요구되는 수소충전압력이 350 bar라는 차이점임.

*** 승용차와 달리 재급유시 버스 충전시 -40℃까지 수소 사전 냉각이 필요 없음**

– (버스용과 수소 스테이션) 그림 2.56는 버스용 수소 충전소 구성을 보여주는 것으로 일반적인 승용차용과 다를 것이 없으나, 충전 압력이 낮음

· 이것이 의미하는 것은 수소 충전에 요구되는 시간이 더욱 길다는 것으로 현재 고속연료 공급시 7.2 kg/min 속도로 수소버스 30 kg 충전을 위해 4 분 내외가 요구된다는 것을 의미함.

· (연료공급 속도) 저속 1.8 kg H2/min, 중속 3.6 kg/min이며, 각각 30 kg 충전시 17분, 8분 내외가 요구됨. 그러나 다양한 이유로 인하여 충전속도는 늦어질 수 있음

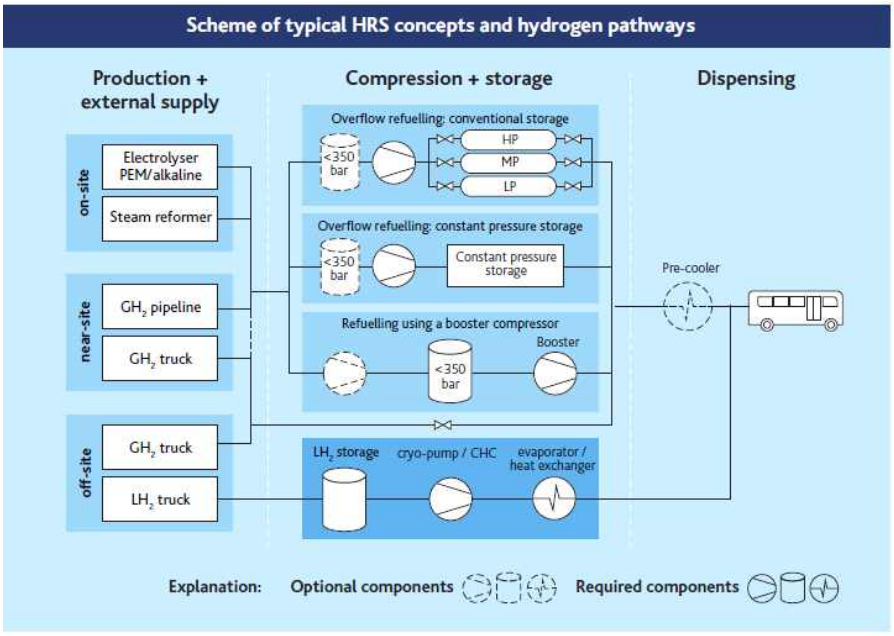


그림 2.56. 버스용 충전소 흐름도
(New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots, Fuel Cells and Hydrogen, 2017)

○ 수소 자동차

- 수소 자동차 핵심 기술은 총 4가지 분야에 걸쳐서 구성되며, 일반적으로 스택, 운전장치, 전장장치, 수소저장차지 분야로 구성됨.
  - (스택) 가장 중요한 핵심요소로 백금 촉매에 의한 경제성 확보의 핵심 부품으로 평가됨. 현재 막전극접합체 (Membrane Electrode Assembly, MEA), 기체확산층, 분리판, 가스켓 체결기국, 인클로 등으로 구성. 1개의 cell이 0.7 V수준의 전기 생산으로 알려지며, 1kW를 위해 50개의 cell이 요구됨. 미국의 고어사가 독점적으로 전세계를 점유하고 있으며, 현대차 등에서 개발하고자 총력을 기울임.
  - (운전장치) 국내 기술이 강점이 있으며, 수소의 공급과 차단에 대한 정확도 개선 방향으로 기술 개발 중
  - (수소 저장장치) 소재 단위에서 고압유지기술과 안정성 확보가 관건으로 현재 탄소섬유활용을 통한 무게 절감이 최고 수준기술임
- 현재 현대자동차, 도요타 등 한국과 일본이 앞선 기술로 세계 시장을 주도.
  - 700 bar 수준의 저장기술이 주독하고 있음
  - 핵심 부품과 기술에 대한 것은 미국, 일본, 독일, 유럽에서 대부분 소유하고 있으며, 특히 고어사는 MEA 분야 독점 기업으로 독자적 기술을 가지고 있음
- 수소 연료전지차의 경제성 확보는 내구성 확보에 달려 있으며, 이를 위해 MEA 기술 확보를 위해 경쟁중에 있으며, 수소 저장장치 경량화가 중요함

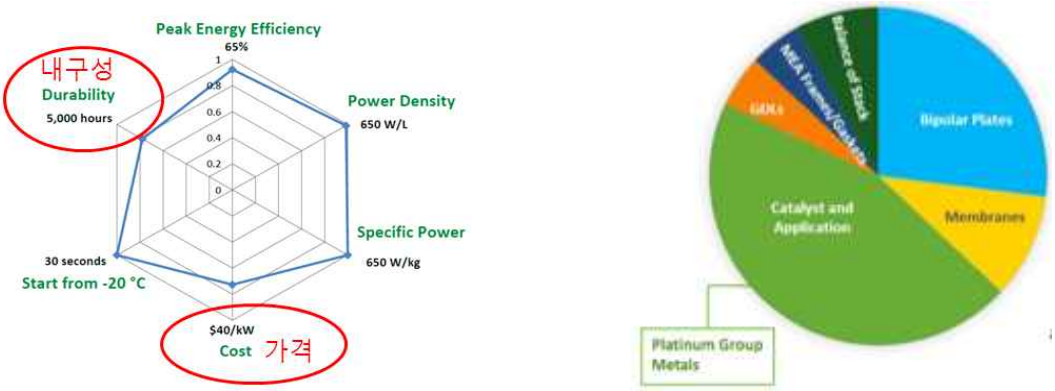


그림 2.57. 수소연료전지차 기술수전 분석 및 가격구조 (DOE AMR, 2017)

구성모듈		가격비중	핵심부품	개발기술	가격저감
연료전지스택		40~50%	막전극접합체	전해질 막 국산화, 촉매담지량 저감(30% 감소)	7.0%
			분리판	공기확산 개선구조를 통한 스택 성능 향상(50% 이상)	3.2%
			가스확산층	두께 박막화(30% 감소) 고강성 구조(두께↓, 강성 유지)	1.0%
			가스켓	내한성능 향상(-25도 이하)	0.3%
			체결기구	체결기구 소재 경량화	0.4%
			모듈	내구성 향상(5,000hr 이상) 스택 적층수 저감(30% 감소)	801.0%
운전장치	공기공급	15%	공기압축기	고속 베어링(소비전력 저감)	0.2%
			막가습기	저가습 운전(막가습기 최소화)	1.1%
	수소공급		수소재순환	저유량 구간 수소재순환	0.5%
			밸브	부품 기능 통합	0.3%
	열/물관리		라디에이터	고방열 구조	0.2%
			히터	히터 소비전력 저감	0.8%
	모듈		모듈	운전장치 전력소비 저감 내식성 배관 소재부품	1.1%
전장장치		10%	모터, 전력변환 등	부품공용화(EV, PHEV, HEV)	1.0%
수소저장장치		20%	고압용기	라이너, 카본파이버 소재 국산화 와인딩 필라멘트 무게 감소	8.8%
			모듈	핵심부품 기능 통합	6.0%
총 가격저감 비율					40.0%

그림 2.58. 수소 연료전지차의 4대 분야 중 가격절감 분야 및 가능성
(산업 분석 리포트 수소차! 뼛속까지 파헤치기, BNK 투자증권, 2018)

○ 수소 연료전지 발전

– 세계 연료전지의 중심은 수소교통 분야로 연료전지가 엔진역할을 대신하기 때문임. 따라서 일반적으로 미국을 중심으로 수소 연료전지는 교통분야에 집중되어 개발 추세를 보임

· 수소자동차와 함께 수소 생태계 분야에서 세계적인 경쟁력을 갖춘 분야중 하나임
· 연료전지를 활용한 발전사업 분야는 또하나의 축으로 사업화가 진행됨
· 현재 한국, 미국, 일본을 중심으로 발전용 연료전지, 주택건물용 연료전지 사업을 주도적으로 진행되고 있으나, 수소 자동차에 비해 시장 자체는 작을 것으로 예상됨

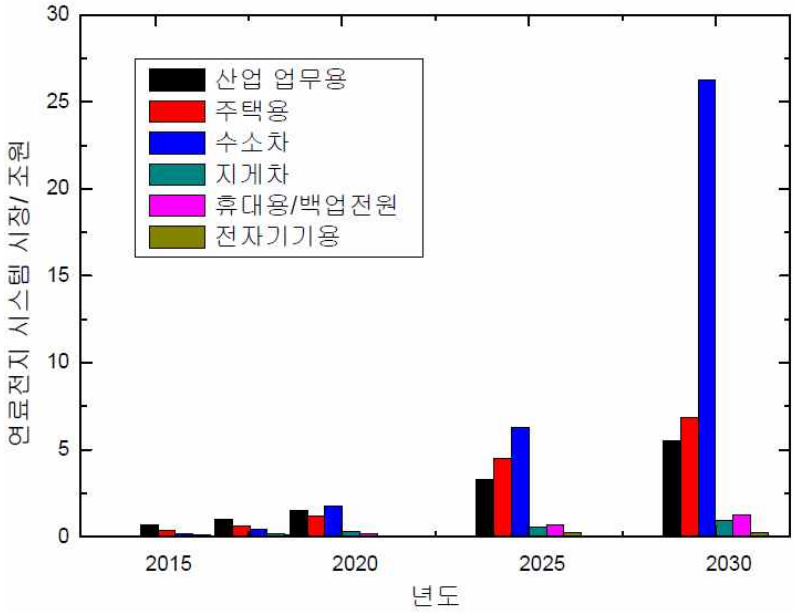


그림 2.59. 2030년까지 연료전지 시스템 시장 분야
(신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018)

– (주택·건물용 연료전지) 일반적으로 천연가스를 기반으로 전기와 열에너지를 생산하는 소규모 열병합 장치로 구분되며, PEMFC가 주로 사용되나, 현재 SOFC 기술이 개발되어 지속적으로 시장에 진입하는 추세임

· 한국과 일본에서 관련 제춤을 출시하고 있으나, 이 분야에서 최대 기술강국은 일본으로 현재 발전효율 39%, 종합효율 94%의 기술력을 가지고 있음
· 유럽은 다양한 실증사업을 통해 연료전지 보급을 하고자 하나, 실질적으로 일본 기업과 제휴를 통해 기술개발 중임
· 한국 발전효율은 35% 이내로 일본에 비하면 효율이 떨어지는 것으로 평가됨

– (발전용 연료전지) 발전용 연료전지 시장은 미국과 한국이 시장 주도적인 기술을 가지고 있으나, 미국의 Bloomenergy 기술이 비교적 한국에 비해 효율면에서 우수한 것으로 평가됨

· 미국이 약 60% 내외의 발전효율을 나타내고 있으며, 한국이 약 45% 내외의 발전효율을 가지고 있음

· 대형 발전 용량은 포스코에너지가 가지고 있으면, 약 2.5 MW의 MCFC 기술을 가지고 있어 시장 주도적인 위치에 있음

제조사	에스퓨얼셀	두산	도시바	파나소닉	아이신
사진					
정격출력	1kW	1kW	700W	750W	700W
크기	600 x 600 x 1,600 (576ℓ) (온수저장용기 일체형)	500 x 700 x 1,550 (542ℓ) (온수저장용기 일체형)	1,000 x 780 x 300 (234ℓ) (온수저장용기 분리형)	1,800 x 315 x 480 (272ℓ) (온수저장용기 분리형)	195x780x330 (50L) (온수저장용기 분리형)
유형	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	SOFC
발전효율	36%	35.2%	39%	39%	51%
가격(만원)	2,700	2,700	1,700	1,700	
특징	건설회사와 협력 규제시장개척	국내점유율1위 6000대/년 공장완공	최고 종합효율 94% BAXI 와 제휴	독일 Viessmann과 제휴	최고 발전 효율 BOSCH 와제휴
누적보급 (2017년말)	약 3,000		223,000		

제조사	포스코에너지FuelCell Energy	두산	Bloomenergy	후지전기
사진				
정격출력	2.5MW	400kW	250kW	100kW
유형	MCFC	PAFC	SOFC	PAFC
발전효율	47%	42%	53–65%	42%
특징	RPS 정책, 국내점유율 1위, FCE 와 기술 제휴	미국 CEP로부터 원천기술 인수	미국 CA주 SGIP 정책으로 급성장, SOFC 발전시장창출	유럽 산업용 발전 시장진출 확대

그림 2.60. 세계 연료전지 기술력 비교
(신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018)

- 직접적으로 수소 타운을 통해 일본은 이미 가정용 연료전지 활성화를 2011년 기타큐슈 수소타운 실증 사업을 통해서 실시한 바 있음

그림 2.61. 일본 가정용 연료전지 보급 현황 (머니투데이, 2018.05.08.)

- 일본의 가정용 연료전지 사업인 에네팜의 경우, 정부와 지자체 및 민간 기업의 파트너십 구축을 통해 초기부터 시장형성의 사업 부담을 완화하였고 그 결과, **성공적으로 산업생태계가 구축되었고 자립 단계로 진입**

- 그림 2.61에서 볼 수 있는 것처럼 `17년 현재 23만 5천대의 가정용 연료전지를 보급하였으며, 20년 140만대, 30년 530만대 보급을 목표로 하고 있음

□ 수소 전주기적 기술 수준 목표에 대한 요약

○ 기술 수준 목표

- 각 국가별 (유럽, 미국, 일본, 호주 등) 로 로드맵을 통한 기술개발에 대한 목표를 제시하여 추진되고 있음

- 수소사회 구축을 위해서 민간 위주의 협회 등도 다양하게 존재하나, 일반적으로 미국의 DOE에서 기술개발 로드맵상의 가격정책을 참고한 수준임

- 다양한 기술수준 목표가 있으나, 대표적으로 International Energy Association에서는 에너지적인 관점에서 표 2.14와 같이 제시한 바 있음

*** 실제 각 국가별 협회별 기술 로드맵은 별도로 요약 정리**

표 2.14. IEA에서 제시한 수소사회 구현을 위한 기술 개발 목표

분야	기술	개발내용	기간
Electrolyser	PEM	Cost : < 800 USD/kW Efficiency : >80 %(HHV) Life time : >50,000 hr System capa. : 100 MW	2025 ~ 30
	Alkaline	Cost : < 900 USD/kW Efficiency : >75 %(HHV) Increase current density Increase operating pressure	2025 ~ 30
	SO	Prove commercial scale Life time : >20,000 hr Degradation rate : <8 %/yr	2025 ~ 30
Fuel cells	PEMFCs (mobile application)	Cost(manufacturing) : <80 USD/kW Life time : >5,000 hr Reduce sensitivity to impurities	2025
	PEMFCs (stationary application)	Cost : <800 USD/kW Efficiency : >50 % Life time : >80,000 hr Achieve MW scale	2025 ~ 30
	Alkaline FC	Life time : >10,000 hr	2025 ~ 30
	SOFC	Cost : <2,000 USD/kW Life time : >50,000 hr	2025 ~ 35
H2 storage	Underground	Develop demonstration project Cost : <1 USD/kWh	2025 ~ 35
	Pressurized tank	Cost : <15 USD/kWh	2025
	Cryogenic & liquefaction	Energy loss(process) : <30 % Reduce boil-off	2030 ~ 35
FCEVs	Vehicles	Cost : less than hybrid ICE	2025
	H2 storage	Cost : <15 USD/kWh	2025
	Ecomomy	Fuel efficiency : 0.8 kg/100 km	2025
		0.6 kg/100 km(500 km)	2035
	Refueling	Establish an international standard	2020
H2 transmission & distribution	Tractor -trailer	Capacity : >900 kg Increase the pressure	2025
	Retail station	Define optimal station lay out Cost(station) : USD 1M(200 kg/day)	2020 ~ 25
	Compressure	Cost : USD 300/kW-H2, 88 MPa	2020 ~ 25
CO2 capture & storage	CO2 capture from SMRs	Large scale : 100,000 t-CO2/yr	2020 ~ 25
	Capture & supply	CO2 cost for power to gas & power to liquids : USD 15~50/t-CO2	2025 ~ 35

□ 국내 기술 동향

○ 수전해 생산기술

- (AE) 이엠코리아 ㈜가 60 Nm^3/hr 규모로 대구, 부안, 제주, 광주에서 실증한 바 있음. 현재는 최대 300 Nm^3/hr까지 성공하여 판매중에 있으나 현재까지 세계 수순에 비해 효율성 면에서 뒤떨어지는 것으로 분석
- (PEME) 엘켐텍이 10 Nm^3/hr 규모로 실증한 바 있음. 그러나 상용화까지는 규모 면에서 시간이 더 요구되는 것으로 사료됨
- 현재 효율개선과 경제성 확보를 위한 수전해 생산기술에 대해 혁신성을 강조한 기술 개발이 `19년 4월 과학기술정보통신부로부터 공고되어 준비중에 있음
- **(시사점)** 국내에서는 2-3개 기업의 주도로 상업화를 시행중에 있으나, 실질적으로 외국계 기술과는 성능면에서 뒤처지고 있으며, 수소 사회실현을 위해서는 효율성 향상 면에서 추가 기술 개발이 요구됨

· 수전해장치 생산용량면에서는 해외 업체 수준에 도달하였으나, 시스템 효율성 등에서 개선이 요구될 것으로 예상

· 이엠코리아, 엘켐텍을 제외한 시장 주도 기업 부재로 인하여 독점체제를 구축하고 있음. 따라서 시장 확대를 통해 자연스럽게 산업계 관심을 유도함으로써 기술의 경쟁력을 확보하는 것이 중요함

· 현재 상황에서는 산·학·연간 연계를 통해 실증화 과제를 통한 상용화 기술개발과 이를 기업체까지 연계함으로써 기술확보 전략을 추구하는 것이 타당

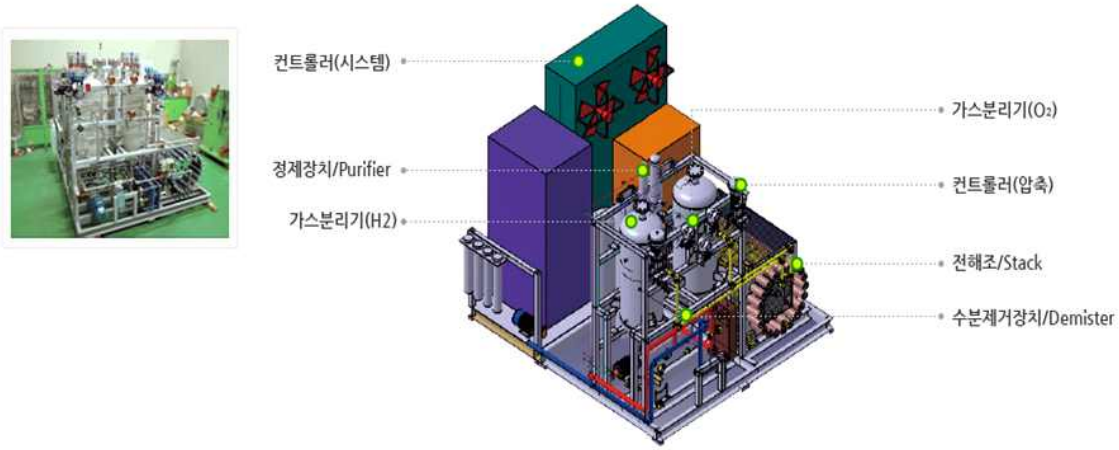


그림 2.62. 이엠코리아의 AE타입의 수분해 수소 제조장치 (www.yesemk.com)

○ 개질 기술

- 국내 수소산업에 비해 수소 자체가 연료로 사용되는 시장은 비교적 최근에 시작되어, 다양한 기업의 육성이 부족한 상황임
- 국내 대형 수소 추출기 제작업체는 없으며, 제철소, 화학정유 공장등의 대형 추출기는 해외에서 제작된 것을 수입하여 적용한 것임
- (기술 현황) 제이엔케이히터가 충전소용 대용량 수소용 추출기를 만들고 있으며, 기술면에서 선두권에 있음. 두산을 포함한 다양한 업체가 연료전지 발전을 위한 소형 추출기를 생산하고 있음
  · 2005년 21세기 프론티어 사업에서 한국에너지기술연구소가 수소 충전소용 천연가스 추출기술 (23 Nm^3/hr, 720 ℃)을 개발한 이후로 비교적 최근 제이엔케이히터가 `13년에 개발한 추출기술을 바탕으로 `17년부터 `22년까지 500 kg/d급 정제 등이 포함된 통합시스템을 개발하고 있음.
  · 국내에서는 제이엔케이히터와 한국에너지기술연구원이 독점적으로 양분하고 있으며, 그나마 기업으로서는 제이엔케이히터가 독주하는 상황임
- **(시사점)** 국내에서는 1개 기업의 주도로 상업화를 시행중에 있으나, 2013년 300 Nm/hr급 수소 추출기를 만든 이후 기술적 발전은 없었음
  · 최근 수소 사회에 대한 정부의 정책적 방향성에 맞추어 제이엔케이히터가 수소충전소용 추출기술을 포함한 통합 수소스테이션 기술을 `20년까지 완성하고자 하나, 실질적으로 일본 등에 비해서 뒤처진 상황임
  · 핵심적인 기술개발 필요사항으로 제이엔케이히터에서 생산한 추출기의 순도가 해외에 비해 떨어지며, 이는 수소자동차 운행과 관련되어 있어 추가 기술개발이 필요
  · 중앙집중식 대형 수소 추출기술은 없으며, 도시내 활용을 위해서는 시급하게 대형화 기술 개발이 요구되는 상황임

○ CCS 기술

- 국내 제철소를 포함한 다양한 플랜트에서 CCS의 필요성이 급증하여 `16년 이후 기초, 원천기술을 포함하여 실증사업이 많이 진행됨.
- `18년 기준으로 CCS 가술수준은 세계 최고수준에 비해 80% 수준으로 평가되고 있으나, 온실가스 자체에 대한 배출저감 기술과 탄소 자원화 기술분야는 세계적인 수순으로 평가 (김 외, 이산화탄소 포집, 저장, 활용기술, KISTEP 기술동향브리프) 되고 있으나, 실질적으로 수소도시에서는 on-site 방식의 충전 배출 CO_2 포집에 초점을 맞추어야 할 것으로 판단됨

– 그러나, 실 플랜트에서 대용량을 위해 적용된 기술이 대부분이며, 소형, 특히 수소 충전소용으로 개발된 것은 없음. 수소 충전소용 순도를 확보하기 위해 제이엔케이히터를 통해서 순도는 보장이 되었으나, 실제 CO_2 포집에 대한 것은 연구개발 상에서 중요하게 다루어지고 있지 않음.

항 목	규 격
천연가스 사용량	약 35 kg/h (정상 운전 시)
수소제조효율	70 % (LHV기준)
수소생산량	250 kg/day (약 120 Nm^3/h)
수소토출압력	7 bar(g)
수소순도	99.995 % 이상
불순물 기준	ISO 14687-2 만족
장치 크기 (m)	2.35 (W) x 5.89 (L) x 3.1 (H)

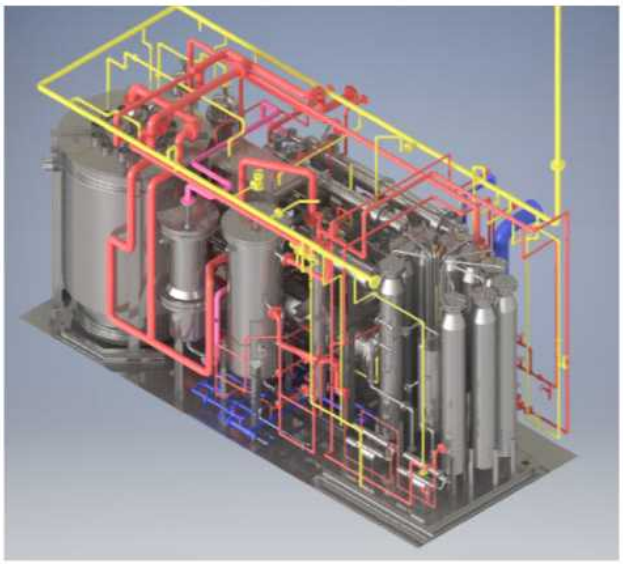


그림 2.63. 제이엔케이히터의 수소 추출기 모식도와 실증중인 모습
(이, 수소생산의 필요한 개질기술 소개, 한국가스신문, 2019)

- **(시사점)** 국내에서는 대용량 플랜트에서 일부 CCS기술이 개발되었으나, 선진국의 약 80% 수준이며, 수소 충전소 등에서 소규모에 사용될 수 있는 CCS기술에 대한 기술은 아직까지 명확하게 진행되지 못함. 따라서 수소 교통 등을 위해서 작은 규모의 고효율 CO_2 포집/저장 기술개발이 시급하게 요구되는 상황임

○ **신재생에너지와 수전해 시스템**

- 국내 신재생에너지는 `17년 12월 "재생에너지 3020 이행 계획"을 통해서 1차에너지 대비 `30년 14.3% 달성을 목표로 함. 이는 53 GW 규모가 됨
  · **(새만금 신재생에너지 단지)** 태양광 3 GW (22년완공), 해상풍력 1 GW (26년 완공)
  · **(월령 신재생에너지 단지)** 태양광 3kW, 풍력 100kW, 30kW, 10kW 2기
  · **(당진 신재생에너지 단지)** 태양광 80MW (`19년 말 완공)
- 신재생에너지 효율저하, 운영시간 제한 등의 정책적 보완을 위해 P2G 방식에 대한 저장 방식을 고려
  · 저장수단으로서 적정 규모별 수단으로 10 MWh 배터리, 10 MWh~1 GWh, 압출 공기, 1 GWh이상, 수소 및 메탄을 제시 (신재생 3020 이행계획 달성을 위한 수소 활용방안, `17.7. 수소융합얼라이언스추진단)
- 국내 태양광 발전 비용은 121원/kWh (`18.12월 기준)으로 해외 최고 수준인 21원/kWh에 비해 약 5.76배 차이이며, 그림 2.48에 따른 예측시 6,000원 이상의 수소 생산 단가가 예상됨

*** 발전단가외적으로 지속적인 단가 차액이 발생하여 이를 국가에서 보조해주는 실정이므로 실질적인 단가는 더 높을 것으로 예측**

- **(시사점)** 실질적으로 국내에서 신재생에너지 발전단가를 고려할 경우 수전해와 신재생에너지 결합을 통한 수소 생산은 경제적으로 어려울 것으로 예상
  · 수소 도시 구축을 위한 수소공급을 신재생에너지를 통한 수전해 공정으로 계획할 경우 경제적 타당성을 맞추는 것이 쉽지 않을 것으로 예상
  · 국내 환경적 특성상 태양광에 의한 지속적인 수소 생산은 어려울 것으로 예상이 되며, 특정지역에 따라서 풍력은 고려할만 할 것으로 예상됨
  · 따라서 그린 수소 도입을 위해서는 국내 생산이 아닌 해외 생산에 대한 패러다임으로 전환할 필요가 있음

○ 수소 저장기술

- 국내 수소저장기술은 기체 압축저장 기술에 대해서만 특화되어 있음. 현재 현대자동차를 중심으로 700 bar 저장기술을 소유하고 있으나, 운반용 튜브트레일러는 아직 450 bar기술 수준에 있음

· 엔케이 그룹에서 수소 저장용기를 중국에 수출 계약한 바 있으나, 국내 이송을 위한 압축저장은 350 bar 이상의 저장기술 개발 중에 있음.

*** 자동차 부품연구원 주관으로 엔케이사에서 참여하여 기술 개발 중에 있으며, 산업통산자원부에서 발주하여 `20년 12월 총 2년 2개월간 개발**

– 수소 액화저장 기술 개발을 위해 `19년 4월 국토교통부에서 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업을 발주한바 있음

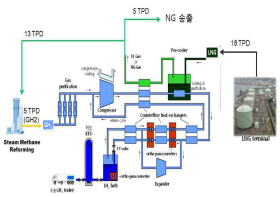
· 실질적으로 액화플랜트에서 가장 핵심이 되는 에너지 손실 감소를 위한 직접적인 개발 보다는 LNG플랜트의 폐냉각열을 이용하는 것으로 냉각기술에 대한 직접적 기술개발이 없어 상용화 기술로서 미흡

· 이 사업외적으로 아직까지 기술소유 기업은 없는 것으로 조사됨. 단 원천기술로서 하이리움사와 한국과학기술연구원이 일부 가지고 있으나, 실험실 수준의 실증 수준임. 이외에 메타비스타에서 액화기술을 응용한 드론 비행에 성공한 바 있음

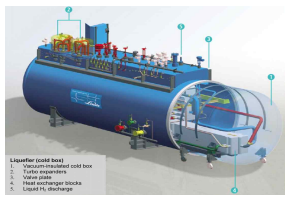
· (연구기간 및 기술개발비) `19.4~`23.12, 27,840백만원 (정부기준)

· (연구 목적) 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술의 국산화 개발을 통한 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반마련

· (연구 내용) LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술, 수소액화용 극저온(−253℃) 핵심설비 설계/제작 국산화 개발, 0.5 ton/day 수소액화 pilot 플랜트 설계/구축 및 운영기술 개발, LNG 냉열 활용 수소액화플랜트 스케일업(5~50 ton/day) 기술 개발



[수소액화 공정]



[수소액화 핵심설비]

[액체수소 저장탱크]

그림 2.64. 국토교통부에서 발주된 액화수소플랜트 기술개발 핵심 내용

- LOHC와 금속저장 기술은 산업부를 기준으로 지속적으로 연구개발 중에 있으나, 아직까지 상용화 수준까지 미치지 못함
- 지하저장기술은 국내 환경적 조건을 비추어볼 때 고려대상이 아님
- (시사점) 국내의 수소 저장기술은 아직까지 해외 수준에 미치지 못하며, 선진국과 비교할 경우 미비한 수준임
  · 수소 기체 압축기술은 일정 수준이상 소유하고 있으며, 이를 바탕으로 단기간적인 기술개발로 700bar 수준을 목표로 진행하는 것이 중요함
  · 액화기술은 아직까지 요원한 기술이며, 전세계적으로도 핵심기술 소유기업이 4개에 그치는 등의 첨단기술로 분류되나, 국내 환경조건에서 그린 수소를 위해서는 해외 생산이 반드시 요구될 가능성이 높기 때문에 기술 개발이 반드시 요구되는 상황임
  · LOHC 혹은 금속저장은 장기적인 전망으로 기술개발을 해야 하며, 장기적으로 저장 방식의 대체를 위해 고려해야함.

○ 수소 이송기술

- 국내 수소 공급현황은 총 수소 생산량 중 25만톤내외가 외부 유통량이며, 파이프라인을 통한 이송/공급이 22만톤 내외로 대부분 산업단지내에서 활용되고 있음. 나머지 3만톤이 튜브트레일러를 통해서 유통
  · 튜브트레일러 대수는 약 500대 내외로, NK, FIBA 사에서 200 bar내외의 튜브트레일러를 국산화하여 판매 중에 있으며, 덕양 (150대)과 창신케미컬(47대)에서 수소트레일러로 수소 보급 중
- 국내 수소의 이송은 울산지역을 중심으로 250 bar의 압축 수소 튜브트레일러와 수소용 파이프라인으로 대변될 수 있음
- 울산 국가 산업단지내 잉여수소 23 만톤을 이용하여 수소타운을 설치하여 수소 커뮤니티에 대한 가능성을 점검하였음
- (파이프 라인) 수소 실증화 단지 (그림 3.65)를 구축하여 LS 니코동제련 사택 140세대내 연료전지 설치 후 ㈜ 덕양에서 수소를 공급함
  · (공급용량 및 압력) 10,000 Nm^3/hr, 20 bar
  · (배관 크기 및 길이) 6 inch (150 mm), 3 km
  · (배관 재질) 스테인리스 스틸 재질 (압력조정설비 및 건물실내 수소 배관) 및 폴리에틸렌 피복강관 (수소공급관)으로 구성되어 있으며, 희생양극법을 적용한 부식방지

*** 국내 수소타운내 0.1MPa 이하 저압 수소사용시설의 안전관리 항목분석, KIGAS, Vol. 19. 2019**

· (설계업체 및 구축 단가) 세원이앤이, 10억/1 km
· (컨소시엄) 울산시, 울산 테크노파크, LS, 두산 퓨어셀, S-퓨어셀, 현대스틸, 효성

그림 2.65. 울산 수소타운 1차 시범단지 및 배관라인 (위: 시범단지 개요, 아래: 배관라인)
(친환경 전지융합 실증화단지 구축사업, 울산테크노파크, 2017)

- 현 수소는 장거리 이송이 수소 충전소까지 이송하기 위한 목적이 대부분이며 그림 2.66에서 보는 것처럼 관련 여수 1개소를 제외한 나머지가 튜브트레일러에 의한 이송임

표 9. 국내 수소충전소 운영/건설 현황

	준공시기	지역	수소공급방식	건설/운영주체	충전압력(bar)	공급사	운영여부	비고
1	2001	경기(화성)	튜브트레일러	현대차	350	Air Products	폐기	
2	2006	대전(유성)	개질(NG)	KIER	350		운영불가	
3	2007	서울(신촌)	개질(납사, NG)	GS칼텍스	350	GS칼텍스	폐기	
4	2007	인천(송도)	개질(NG)	한국가스공사	350	가스기공	O	2015년 HCNG로 증설
5	2007	대전(유성)	개질(LPG, NG)	SK에너지	350	SK	운영불가	
6	2008	서울(홍릉)	튜브트레일러	KIST	350		폐기	
7	2008	경기(용인 마북)	튜브트레일러	현대차	350/700	Air Products	폐기	2016년 Upgrade
8	2008	경기(화성)	튜브트레일러	현대차	350/700	효성	O	
9	2009	울산(매암)	튜브트레일러	동덕산업가스	350	효성	휴지	
10	2009	여수(중흥)	파이프라인	SPG케미칼	350	효성	휴지	
11	2009	경기(화성)	튜브트레일러	KATRI	350/700	Air Liquide	휴지	
12	2010	제주(김영)	수전해	현대차	350	Air Liquide	휴지	
13	2010	서울(양재)	튜브트레일러	현대차	350	효성	휴지	2016년 Upgrade
14	2010	서울(상암)	개질(매립가스)	서울시	350	Air Products	O	
15	2011	전북(부안)	수전해	KIER	350	효성	휴지	
16	2012	울산(매암)	튜브트레일러	현대차	350/700	광신	O	
17	2013	대구(서변)	수전해	EM코리아	700	EMK	휴지	
18	2014	광주(잔곡)	튜브트레일러	광주그린카진흥원	350/700	EMK(광신)	O	
19	2015	충남(내포)	튜브트레일러	충남테크노파크	350/700	광신	O	
20	2016	경기(용인 마북)	튜브트레일러	현대차	350/700	Air Liquide	O	국내 최초 3분 충전시스템
21	2016	서울(양재)	튜브트레일러	현대차	700	효성	O	서울지역 최초 700bar 충전소
22	2017	경남(창원)	튜브트레일러	창원산업진흥원	350/700	EMS(Linde)	O	
23	2017	울산(옥동)	튜브트레일러	울산/옥동LPG	700	효성	O	국내 최초 LPG-수소 복합형
24	2018	평창	튜브트레일러	EMS	700	EMS(Linde)	휴지	국책 연구개발과제
25	2018	강릉	튜브트레일러	EMS	700	EMS(Linde)	휴지	국책 연구개발과제
26	2018	여주휴게소	튜브트레일러	현대차	700	광신기계	휴지	동계올림픽 대비용
27	2018	광주(복룡동)	TT+개질기	광주그린카진흥원	700	Linde	O	국내 최초 CNG-수소 복합형
28	2018	울산(연암동)	튜브트레일러	경동LPG	700	효성	O	LPG-수소 복합형 충전소
29	2018	울산(옹천면)	튜브트레일러	신일LPG	700	효성	O	LPG-수소 복합형 충전소
30	2018	울산(온산읍)	튜브트레일러	그린주유소	700	효성	건설중	국내최초 주유소-수소 복합형
31	2018	창원(성주동)	튜브트레일러	창원산업진흥원	700	EMS(Linde)	건설중	
32	2018	창원(덕동동)	튜브트레일러	창원산업진흥원	700	EMS(Linde)	건설중	
33	2018	광주 자부연	TT+개질기	광주 자부연	700	효성	건설중	종합 Test bed
34	2018	현대모비스 충주	튜브트레일러	현대모비스	700	효성	건설중	
35	2018	부산 송정동	튜브트레일러	민간수소-NK	700	NK	건설중	
36	2018	대전	튜브트레일러	민간수소-중도가스	700	NELL	건설중	
37	2018	광주(벽진동)	튜브트레일러	광주그린카진흥원	700	Air Liquide	건설중	
38	2018	광주(임암동)	튜브트레일러	광주그린카진흥원	700	Air Liquide	건설중	
39	2018	도로공사 안성하	튜브트레일러	한국도로공사	700	효성	건설중	
40	2018	현대차 서울1	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
41	2018	현대차 서울2	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
42	2018	현대차 인천	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
43	2018	현대차 부산	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
44	2018	현대차 안성상	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
45	2019	인천	튜브트레일러	민간수소-JNK	700		건설예정	
46	2019	현대차 하남	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
47	2019	현대차 함안	튜브트레일러	현대차	700		건설예정	
48	2019	도로공사 언양	튜브트레일러	한국도로공사	700		건설예정	
49	2019	도로공사 백양사	튜브트레일러	한국도로공사	700		건설예정	
50	2019	도로공사 성주	튜브트레일러	한국도로공사	700		건설예정	
51	2019	강원 강릉	튜브트레일러	강원테크노파크	700		건설예정	
52	2019	강원 삼척	튜브트레일러	강원테크노파크	700		건설예정	
53	2019	대전(유성)	튜브트레일러	대전시청	700		건설예정	
54	2019	창원3	튜브트레일러	창원산업진흥원	700		건설예정	
55	2019	울산5	튜브트레일러	울산테크노파크	700		건설예정	

그림 2.66. 전국 수소충전소 건설현황 및 예정
(수소 충전소가 있어야 자동차도 달린다, IBK 투자증권, 2019)

- 튜브트레일러 운송용 용기가 현재 450 bar를 기준으로 개발중에 있으며, 해외는 이미 500 bar 이송이 상용화된 현실체 비추어 볼 경우 기술 개발이 뒤쳐짐

- **(시사점)** 국내 산업용 수소는 덕양, 창신케미컬 등이 소유한 튜브트레일러를 통해서 공급이 활발하게 이루어지고 있으나, 튜브트레일러를 통한 압축부피가 200bar 내외로 해외에 기술력에 비해 50% 수준에 그치고 있음. 현재 NK사에서 450 bar(목표 350 bar이상)를 기준으로 기술개발 중에 있으나, 실제 해외 500 bar 기술력에 비해 목표점이 뒤처지고 있음
  · 확보된 기술에 의한 산업 확장이 중요하며, 기술개발시 500bar내외까지 성능향상이 필요함
  · 파이프 라인에 의한 수소 이송은 울산 수소타운을 중심으로 연료전지와 연계한 경험이 풍부하기 때문에 초기 투자비용 (10억/km)이 있을 경우 충분한 상용화가 가능한 수준으로 평가되나, 저압용 (20bar)에 대한 경험만 있으므로 고압용 (100bar)까지 가능한 파이프라인 개발이 시급함.
  · 파이프 라인 재리 개발에 대한 국내 기술력은 우수하므로 잠재적 가능성은 높을 것으로 판단되나, 단기적 목표로 20 bar내외의 압력 하에 운송 가능한 지역 (울산의 경우 3 km내외) 으로 파이프라인 설치 시범사업 구축과 장기적으로는 100 bar내외의 고압송부가능 지역까지 확대를 위한 기술개발 전략 수립 필요

ㅇ 수소 충전소

- 총 55개의 수소 충전소가 건설 예정 및 건설 중이거나, 건설되었음. `18년 현재 기준으로 총 14개의 충전소가 운영 중에 있으며, 그 특징 및 건설사가 그림 2.66 에 정리되어 있음
  · 해외 업체로는 Air Products, Air Liquide, Linde, nel 등이 진출해 있으며, 효성, 광신, EMK가 국산 업체간 경쟁중에 있음

- 국내 수소충전소 관련 업체는 효성중공업, 이엠코리아, 제이엔케이 히터, 광신기계 등이 있으며, 가장 기술적 우위의 업체는 효성 중공업임
  · 효성중공업이 국내 총 28개 수소충전소중 12개 담당함으로써 국내 점유 1위 실적을 가지고 있음
  · `16년 서울 양재동 700bar 급 수소충전소를 건설, `17년 LPG 수소복합충전소를 통해 3분 급속충전기술 구현

- 이엠코리아는 현재 운영중인 수소충전소 14개중 9개를 건설함으로써 실질적으로 충전소 관련 가장 높은 기술경쟁력 소유기업으로 분류

그림 2.67. 이엠코리아에서 건설한 대구 수소 충전소와 수소 발생장치

- 국산화 기술 현황은 표 2.15에 있는 것처럼 절대적으로 효성중공업이 소유하고 있으며, 영국의 Linde사가 이엠코리아에 압축기와 충전기를 공급하고 있음
  · (수전해방식 수소충전소) 기술 소유는 국내 이엠 코리아가 독점적 체계를 구축
  · (천연가스 추출방식 수소충전소) 제이앤케이 히터 (사)가 대형화 기술개발 중에 있으며, 역시 독점적 체계를 구축함. 실질적으로 SK 에너지에서 산업부를 통해 기술개발한 사례가 있으나, 현재 사업 진출 여부가 불투명함

표 2.15. 수소충전소 관련 국산화 기술현황
(수소 충전소가 있어야 자동차도 달린다, IBK 투자증권, 2019)

구성품	수량 (세트)	공급사
수소압축 패키지	2	Hofer(독일), 효성
수소 저장용기 (저압)	4	Fiba Tech (이탈리아)
수소 저장용기 (고압)	4	Fiba Tech (이탈리아)
Priority panel	1	효성
디스펜서	2	효성
Pre-Cooler	1	효성
냉각기	1	국내 냉동기 업체

- **(시사점)** 국내 수소충전소는 상당한 건설 경험이 있으나, 운영 경험이 없어 장기간에 걸친 운영과 저장 용기, 압축기 기술을 개발해야 함.
  · 효성 중공업에서 다향안 부품을 국산화한 것으로 조사되나, 실질적으로 현재 시점에서 1000 bar 내외의 압축기술 등의 개발과 급속 디스펜서 기술이 필요

○ 수소 자동차

- 우리나라의 수소연료전지차 기술은 세계 최고 수준으로, 미국의 H2USA와 CaFCP 등의 협회의 대표적 수소 차량으로 등재됨. 그림 2.68는 이러한 현황을 보여주는 것으로 수소에너지 활용면에서 유일하게 선진국과 경쟁이 가능한 분야임
  · 2013년 세계 최초로 투싼 iX 수소 연료전지차 양산을 시작하였으며, 2018년 2세대 수소연료전지차 넥소를 발표함.
  · 투싼 iX 의 일충전 주행거리는 415 km 정도였으며, 넥소는 600 km 이상임. (충전시간: 약 3분)

각국 수소전기차 비교

구분	현대	도요타	혼다	닛산	다임러	GM
차량 형태						
출시 시기	'13.2월	'14.12월(일) '15.9월(미)	'16년 3월	'17년 출시	'17년 출시	'20년 출시
차량 가격	8,500만원 ('15)	700만엔	Mirai 수준예상	가격에 관한 정보 없음		
주행거리	440km	480km	700km	500km (실연비)	400km	300마일 (483km)
판매/생산 목표	'18년 수천대	'15년 700대 '17년 3천대	'20년까지 5천대 생산	부품공용화로 '17년 연간 10만대 생산		
출력	100kw	114kw	100kw	80kW(추정)		80kW(추정)
최고시속	160km	175km	160km	사양에 관한 정보 없음		

그림 2.68. 각국 수소자동차 성능 비교

- 자동차의 완성도에 비해 부품의 국산화 비율과 엔진 스택 등의 핵심기술 소유여부는 부족한 부분이 있음. 즉 설계와 엔지니어링 기술에 있어 경쟁력을 가지고 있으나, 핵심기술 소유여부는 부족한 것으로 평가될 수 있음

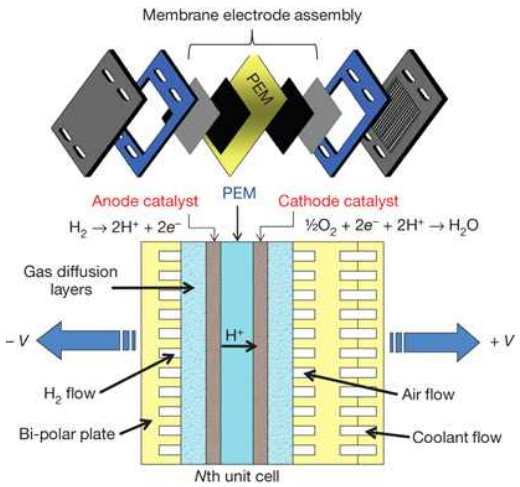


그림 2.69. MEA의 구조 (M K. Debe *Nature* **486**, 43-51 (2012))

- `13년 최총 상용 수소차를 개발했음에도 불구하여 현재 수소자동차만 비교할 경우 토요타, 혼다에 이은 세계시장 3위에 그침
  · 국내 수소 충전소 보급 실패로 인하여 수소자동차 운행 수단 부족에 기인

- 수소 연료전지차 개발의 가장 중요한 요인은 가격 저감과 내구성 향상으로 필요한 기술 및 저감 요인은 그림 2.70에 요약되어 있음
  · 가격 저감을 위해서는 연료전지스택 가격의 50% 정도를 차지하는 백금 촉매의 사용량을 낮추거나 저가 소재로 대체하려는 연구가 활발함. 또한 현재 사용하고 있는 고가의 나피온 전해질 막을 대체할 수 있는 고분자 개발도 꾸준히 진행
  · 내구성 향상을 위해서는 고내구성 막전극접합체(MEA) 제조 기술, 고내구 고강성 기체확산층, 고내식성 금속분리판 및 가스켓 일체형 모듈, 저진동 고내구 공기압축기, 스택 열관리 부품 개발, 스택 내구성 향상 운전 기술 등의 개발이 필요

- 국내 수소차내 기술분야 기술적 현황은 그림 2.70에서와 같이 국산 부품은 50%가 안되는 것으로 조사됨. 다만, 현재 현대자동차를 중심으로 기술개발을 통해 국산화율을 높이기 위해 노력 중에 있음

- **(건설중장비 차량)** `16.05~`19.04 기간동안 15 kW급 연료전지를 건설 중장비(굴삭기) 용으로 범한산업에서 연구개발 중임
  · (목표 및 예산) 시스템 전기 효율 42%이상, 스택 효율 58%, 4,882백만원 (정부)
  · (참여기관) 건설기계부품연구원, 한국에너지기술연구원, 한양대학교, 우석대학교, ㈜ 현대산기

- **(실내 물류운반 차량)** `12.11~`16.10 기간동안 5 kW급 PEMFC-배터리 하이브리드 시스템을 실내 물류운반 차량용 (지게차)으로 프로파워에서 연구개발함.
  · (목표 및 예산) 수소이용률 90%이상, 블로워 모터 효율 70%, 배터리 팩 7 kWh, 스택 정격 2 kW, 5,740 백만원 (정부)
  · (참여기관) 프로 파워
  · (현황) 현재 연구개발의 핵심 개발품이 연료전지 파워팩으로 실질적으로 지게차 등에 장착후 실증하지는 못하였음. 정확한 스택의 효율에 대한 신뢰 측정 등이 필요함.

- **(시사점)** 수소 자동차 분야 중 상용차 생산은 기술 경쟁력이 기 확보하였으나, 엔진 스택 등의 핵심 부품은 수입에 의존하고 있으며, 수소충전소가 부족에 따른 기술 정체
  · 국가 적인 차원에서 충전 인프라등을 구축하고, 자발적인 기술 개발을 통한 기술 및 가격 경쟁력 확보를 유도해야할 필요가 있음
  · 실내 건설장비 위주의 우선적용을 통해서 자동차 기술 확대를 추진

구분	핵심기술 핵심부품	국내 기술 현황	부품 수입현황			사유	
			국산화율	주요수입부품	국가	가격	기술
스택	막전극접합체	추격	50%	막전극접합체 국내 생산 (단, 전해질 막 소재수입) '20년 국산화 예정 (단, 소재는 수입)	미국		O
					미국		O
	기체확산층	추격	-	'19년 국산화 예정(단, 소재는 수입)	독일	O	O
					일본	O	O
	분리판/가스켓	경쟁	100%	(부품기준)			
	셀전압 모니터링	경쟁	100%	(부품기준)			
	체결기구	경쟁	100%	(부품기준)			
	인클로저/인터페이스	경쟁	100%	(부품기준)			
운전 장치	공기공급장치	경쟁	95%	화학필터, 고속베어링 소재부품 수입	미국		O
					독일	O	O
	수소공급장치	경쟁	100%	(부품기준)		O	O
	열관리장치	경쟁	99%	이온제거 소재	미국		O
					일본		O
	공조장치	경쟁	100%	(부품기준)			
전장 장치	구동모터	경쟁	100%	(부품기준)			
	감속기	경쟁	100%	(부품기준)			
	전력변환장치	경쟁	40%	파워소자, IC, Cap 필름 등 소재 수입	일본	O	O
					일본	O	O
					독일	O	O
	EMI/윤활/냉각	경쟁	100%	(부품기준)			
	ECU 및 제어장치	경쟁	100%	(부품기준)			
수소 저장 장치	수소저장용기	추격	50%	카본파이버 소재수입	일본	O	O
	고압 밸브/배관/ 레귤레이터	추격	90%	고압실링소재 수입 '20년 국산화 예정	미국	O	O
					미국	O	O
					캐나다	O	O
	안전장치	추격	90%	고압실링부품 수입 '20년 국산화 예정	미국	O	O
					캐나다	O	O
					유럽	O	O
	수소충전/ 수소저장제어기	경쟁	100%	(부품기준)	유럽	O	O

그림 2.70. 국내 수소연료전지차의 기술현황 및 기술선두 국가
(위: 산업 분석 리포트 수소차! 뼛속까지 파헤치기, BNK 투자증권, 2018)
(아래: 테크월드, 수소전지차의 구성과 국내 경쟁력, 2019)

○ 연료전지

- 연료전지는 크게 가정용 연료전지 사업과 발전용 연료전지 사업으로 분류 가능
- 국내 발전용 연료전지 시장은 세계 시장의 약 50%를 차지하며, 2012년 연간 100 MW의 세계 최대 규모의 연료전지 생산 설비를 구축하였고 포스코에너지 및 두산, LG가 적극적으로 투자를 해서 전 제조공정 국산화 및 양산 라인을 구축 완료
  · 현재 기술 수준만 평가할 경우 국내 기술력은 발전시장에서 세계적인 경쟁력이 있는 것으로 평가되나, 가정용 연료전지 기술은 일본에 비해 뒤처지는 수준임. (그림 2.61)
  · 정부는 신재생에너지 보급 활성화 정책을 통해 연간 500 MW 이상의 전기를 생산하는 국내 발전 사업자를 대상으로 총발전량의 일정 비율 이상을 신재생에너지로 공급하도록 의무화
  · `18.05 현재 국내 연료전지 발전 구축 현황은 340.2 MW 규모로 포스코에너지와 두산 퓨어셀이 양분한 상황에서 미국의 불룸에너지가 최신 SOFC 기술로 시장 경쟁 중에 있음
- 아직 가정용 연료전지 사업은 국내에서 시장 형성이 되지 않은 상황이며, 한국에너지 관리공단에서 신재생에너지 보급사업의 일환으로 연료전지 주택 사업을 실시하고 있음. 표 2.16은 현재까지 국내에 보급된 연료전지 주택 수를 보여주는 것으로 으로 `17년까지 총 2,666 개에 불과함
  · `17년 기준으로 일본의 23.5만대의 1.1% 수준에 불과한 상황임
- 울산의 수소 타운을 시작으로 가정용 연료전지 보급은 실증 사업 수준으로 연료전지 발전 사업에 비해 미비한 것으로 평가됨
  · 이것은 연료전지 발전이 세계 2위 시장인데 비해 가정용 연료전지는 일본의 1.1 % 미만의 미미한 시장규모를 가지고 있기 때문임

표 2.16. 국내 연료전지 주택 보급 현황 (한국에너지 공단 홈페이지 참고)

년도	`10	`11	`12	`13	`14	`15	`16	`17	총 계
주택수 (개)	957	292	245	232	175	308	285	177	2,666

■ [표1] 국내 연료전지발전설비 구축 현황

가동중	250.1MW	합계 340.2MW
설치중	90.1MW	

●포스코에너지 MCFC

위치(가동중)	용량
경기그린에너지	58.8MW
노을그린에너지	20MW
분당 1단계	0.25MW
일산 1단계	2.8MW
일산 2단계	2.8MW
일산 3단계	2.8MW
울산 1단계	2.5MW
서인천 1단계	11.2MW
보령 1단계	0.3MW
포항연료전지공장	2.4MW
노원열병합발전소	2.4MW
인천발전소	2.4MW
여수 1단계	4.8MW
여수 2단계	5.6MW
여수 3단계	5MW
고덕그린에너지	19.6MW
광명여병합발전소	5MW
당진화력	2.4MW
대구성서공단	11.2MW
부산화천사단	5.6MW
군산페이퍼코리아	2.4MW
부산하수처리장	1.2MW
삼척가스공사기지	0.3MW
합계	171.75MW
설치 중	용량
여수 4단계	10MW
합계	10MW

●두산 PAFC

위치(가동중)	용량
평택에너지서비스	3.08MW
GS파워 평촌	4.8MW
남동 안산	2.64MW
부산국제금융센터	0.4MW
제2롯데월드	0.8MW
남동 분당 2단계	3.08MW
남동 분당 3단계	5.72MW
서부발전 서인천 2단계	5MW
부산해운대	30.8MW
포천민자발전	0.44MW
안산 배곧신도시	6.16MW
중부 신보령	7.48MW
삼천리 광명	2.64MW
동서 일산 4단계	5.28MW
합계	78.32MW
설치중	용량
남동 분당 4단계	16.72MW
남동 분당 5단계	5.72MW
한국지역난방공사 동탄	10.56MW
오성연료전지	9.68MW
GS파워 부천	10.56MW
남부 신인천 2단계	18.48MW
합계	71.72MW

●블룸에너지 SOFC

설치중	용량
남동 분당 6단계	8.35MW
합계	8.35MW

그림 2.71. 연료전지 보급 현황 (가스 신문, 연료전지 발전시장, 이대로 좋은가?, 2018.05)

- **(시사점)** 국내 연료전지 발전 기술은 세계 2위권의 시장 형성으로 인하여 세계적인 기술 경쟁력과 운전경험을 갖추고 있는 반면, 가정용 연료전지는 일본 등의 선진국에 비해 뒤처짐
  · 수소 도시 전략 추진시 단기간 방안으로 중앙 집중식 수소연료전지 발전 혹은 중앙 집중식 수소 연료전지 열병합 발전으로 대규모 community 공급은 충분히 가능한 기술력과 경쟁력을 갖추고 있는 것으로 사료됨

· 개별 주택 공급이나 혹은 공동주택 단위의 연료전지 공급시 기술은 갖추고 있으나, 아직까지 운전 경험이 부족한 것으로 사료됨

· 따라서 국내 발전용 및 가정용 연료전지의 사례와 일본 에네팜의 사례에서 확인할 수 있듯이, **정부의 체계적인 투자와 시장의 불확실성을 해소할 수 있는 보급 계획 수립이 우선되어야 함**

· 국내 가정용 연료전지 산업은 아직 초기 보급 단계로 경제성 확보의 문제로 정부 보조금에 전적으로 의지해야 하는 구조이므로 초기 가격 경쟁력 확보전까지 적절한 보조금 정책이 요구됨

***1 kW급 가정용 연료전지가 국내에서 약 3,800만원(설치비 500만원 추가)인 반면 일본에서 보급되는 1 kW급 가정용 연료전지가 약 200만엔이므로 가격 경쟁력이 부족**

· 그러나 가정용 연료전지의 정부 보조금이 2012년 100억원에서 2014년 60억원으로 점차 감소하고 있고 건물 지원 사업은 연간 25억원이므로 **시장이 형성될 수 있는 인프라 구축에 많은 시간과 노력이 요구**

7. 시사점 및 문제 도출

○ 시스템화에 대한 인식 부족. 수소 경제 로드맵 상에서 대다수 초점이 핵심 기술에만 맞추어져 있어 기술간의 조합에 따른 시스템화에 대한 고려가 부족함.

- 예를 들면, CCS 기술과 추출기는 하나의 시스템으로 고려해야 하나 개별적으로 고려되어 기술개발이 단지 추출기 개발, 혹은 수전해 기술 개발 등으로 별도의 기술개발로 이루어짐
- 이러한 결과는 시스템 효율의 저하와 설계/엔지니어링 기술 부족에 따른 경제성 확보가 미진할 수 있음
- 시스템에 대한 실증사업 확보를 통해서 시스템효율 증대와 엔지니어링 기술의 확대가 시급한 상황임

○ 수소 생산 기술에 대한 적절한 방향성 제시가 필요. 즉 수소 사회의 이미지가 온실가스 저감에 있음에도 수소 생산 자체가 천연가스 추출을 기반으로 제시됨. 이는 국내 신재생에너지 사업 확대가 사실상 소규모에서 경제성 확보가 어렵기 때문이므로 순수 그린 수소 생산량 확대가 부족하기 때문임

- 따라서 부생수소외적으로 수소사회 구현을 위해서는 그린 수소 수입에 대한 정책적 방향성 제고가 필요함

○ 국내 수소 도시 구현을 위한 수소의 경제성 확보는 이송수단에 의해 결정될 확률이 높기 때문에 경제적인 이송 방식에 대한 고민이 필요함

- 단순 이송수단으로 튜브트레일러를 이용할 경우 대용량 이송은 불가능한 상황
- 수소 수급을 각 부생수소 혹은 단기적으로 천연가스 공급을 통한 지역인근으로 한정하고, 액화기술에 대한 확보가 시급하게 진행되어야 할 것으로 사료
- 수소 충전소는 수소자동차 충전의 회전율에 의해서 결정될 것으로 사료되므로, 현재 년간 수소 자동차 공급 가능한 범위를 결정하여 수소 충전소 구축 계획을 수립해야 함

○ 장기적인 관점과 단기적인 관점으로 수소 도시 구현에 대한 로드맵을 구축해야 할 것으로 사료됨

○ 국내 수소 도시 구현을 위한 수소 이송방식은 크게 파이프라인과 튜브트레일러에 의존할 수 밖에 없는 구조임

- (튜브트레일러) 수소 충전소용을 위한 중앙집중 생산방식과 연계해야하나 실질적으로는 부생수소와 연계하는 방안이 최우선적으로 검토
  · (단기적) 수소 공급방안이나, 도시내 지속적인 운영을 위한 운송량은 부족할 것으로 판단되므로, 수소 교통 구현을 위한 순수 수소 공급방안으로 고려
  · (장기적) 500bar 내외의 고압 수소 운영이 가능한 시점에서 소규모 커뮤니티까지 공급하는 방안으로 확대하되, 수소자동차 확대에 따른 수소충전소 운영률과 연계하는 방안이 최우선적으로 검토가 필요
- (파이프라인) 수소 도시 구축을 위해서는 최우선적으로 검토하되, 단기적으로 현재 울산등에서 적용한 파이프라인 구축 경험을 벤치마킹하여 시범도시를 구현
  · (단기적) 수소 타운규모의 5 km이내의 반경을 통해 수소 공급 파이프라인을 구축하고 주거, 충전소, 빌딩 등에 연료로서 직접적인 수소 공급
  · (장기적) 100bar 내외의 고압 수소 이송이 가능한 파이프라인 개발과 현재 100m 당 1억원 소요비용 감소, 그리고 장거리 이송시 우려되는 부식, 누출 등의 방지 및 모니터링 기술 개발이 요구됨
  · 국내 수소 배관망 구축은 초기 투자비용이 천문학적이므로 기 천연가스 배관망을 통한 수소 혼합공급과 현장에서 수소를 천연가스에서 분리할 수 있는 핵심기술 개발 등을 통한 장기적 수소 공급 전망을 확보해야 할 필요가 있음. 이를 위해서는 기존 천연가스 망 재질에 따른 수소 함유량 등에 대한 기본적인 DB 구축 등이 요구됨

○ 전반적인 수소 도시 및 경제 구축을 위해 요구되는 기술 중 수소교통과 연료전지 분야를 제외하고 상용화된 국산화된 분야 부족하여 기술의 방향성을 국산화에 초점을 맞추고 단기적 상용화와 장기적 핵심기술 개발 분야를 구분

- 국내 수소 기술은 응용분야에 치우쳐짐. 기반기술인 생산, 저장, 이송 분야는 일부 실증화를 제외한 나머지는 실증수준에도 미치지 못함

- (기술개발 트랙의 분리) 단기적으로 수소 도시 구현을 위해서는 국산화 기술 부족으로 인하여 기반 기술을 해외에서 도입하는 방안을 추진하여 국산화기술과의 접목 전략을 추진함

· 핵심 기반 기술 개발은 산업부와의 공조를 통해 수소 도시내 필요분야 중 핵심기술 개발 전략을 추진함

· 수소 도시 구현을 위해서 수소 교통분야와 연료전지 활용분야를 우선 추진하되 현 단계 활용가능 부생수소, 추출수소 등을 적극적으로 활용하고, 향후 기반기술의 국산화가 될 경우 연계방안 추진

· 이송수단 부족으로 인하여 수소 수급이 가능한 범위 내에서 수소 도시 추진

○ 수소 수급과 순도 문제

- 수소는 현재도 다양한 산업부분의 필수적인 재료로서 사용되기 때문에 현재도 생산되고 있으며, 총 24만톤 내외가 활용가능한 것 보고됨

*** `17년 기준으로 172만톤이 생산 (신재생에너지 백서 2018 참고)**

- 그러나, 이러한 수소는 대부분이 사업내 필요한 재료로서 활용되기 때문에 울산을 제외하고는 에너지로서 활용하기 위해서는 추가적인 생산이 필요하며, 이는 현재 수소의 경제성이 현 에너지와 비교되어야만 한다는 것을 의미함.

*** 울산지역에서도 부생수소를 추가 생산하여 ㈜덕양을 통해 구입하는 실정**

- 수소의 경제성을 확보하기 위해서는 생산단계에서 극복해야할 장애성이 존재하며, 향후 기술 개발의 초점은 여기에 맞추어져 이루어져야 함

· **(수소의 품질)** 대표적인 수소 활용수단으로서 자동차에 사용되기 위한 수소의 품질은 연료전지 스택의 효율, 수명 안정성을 위해 순도가 높아야 함. 따라서, 수전해 등 고순도 생산이 가능한 공정을 제외한 나머지는 **추가 정제공정이 요구**됨.

· **(비용)** 수소는 1차 에너지원이 아니므로 타 연료에 비해 경제성이 부족함. 따라서 비용절감을 위한 수단이 다양하게 연구되어야 함.

*** 일반적인 방식으로 설계 효율화, 부품수 저감, 대량생산 등이 대표적인 방식임**

· **(규정)** 수소 생산 방식을 지속적으로 적용하기 위해서 검사, 검증, 시험 등의 표준화와 제도화가 필요함

· **(안전과 컨트롤)** 수소의 안전성확보는 주민 수용성과 함께 매우 중요한 사항이며, 또한 이것은 규정에 의해 명시되어 표준화되어야 함

○ 수소 자동차 성능 향상이 필요

– 수소자동차의 현재 인지도는 세계 정상권으로 인식되나, 실질적으로 일본 혼다 등에 연비등에서 차이가 발생하고 있음

· 비록 수소 상용차 개발은 최초이나, 실질적인 연비 등에서 일본차에 비교적 뒤처지는 상황이며, 이는 `13년 개발이후 실질적인 상용화 내수 시장 부족으로 인하여 점차 일본에 뒤쳐졌기 때문인 것으로 분석

· 엔진 스택등의 효율향상을 통해 연비 개선이 시급

– 수소 경제 구현시 현 전기자동차처럼 해외 자동차를 위한 시장으로 전락할 가능성이 있음

*** 실제 외국에서 시장 전망에 따르면 `30년 기준 일본 22만대, 한국 8만대 수준으로 평가함**

Compare Fuel Cell Vehicles

Fuel cell vehicles (FCVs) are now for sale or lease in the United States although availability is limited to areas with an adequate number of hydrogen refueling stations. Fuel economy estimates and other information are provided below.

	2019 Honda Clarity	2019 Hyundai Nexo	2019 Hyundai Nexo Blue	2019 Toyota Mirai
Fuel Economy				
Mi/Kg	**66** comb / 67 city / 66 hwy	**56** comb / 58 city / 53 hwy	**60** comb / 64 city / 56 hwy	**66** comb / 66 city / 66 hwy
MPGE	**68** comb / 68 city / 67 hwy	**57** comb / 59 city / 54 hwy	**61** comb / 65 city / 58 hwy	**67** comb / 67 city / 67 hwy
Other Estimates				
Range (miles)	360	354	380	312
Annual Fuel Cost *	$1,250	$1,500	$1,400	$1,250
Vehicle Characteristics				
Vehicle Class	Midsize Car	Small SUV - 2WD	Small SUV - 2WD	Subcompact Car
Motor	AC Permanent Magnet Synchronous (130 kW)	AC Induction (95 kW)	AC Induction (95 kW)	AC Induction (113 kW)
Battery	346 V Lithium Ion	240 V Lithium Ion	240 V Lithium Ion	245 V NiMH
Availability	Select dealers in California	Available in Los Angeles/Orange County California in December 2018 with plans to expand to other parts of California in 2019	Available in Los Angeles/Orange County California in December 2018 with plans to expand to other parts of California in 2019	Dealers in California & Hawaii

* Annual fuel cost calculated assuming a hydrogen cost of $5.55/kg, 15,000 annual miles of travel, and 55% city and 45% highway driving.

kW = kilowatt; V = volt; kg = kilogram

그림 2.72. 미국에서 분석한 대표적 수소연료전지 차의 연비 비교 (www.fueleconomy.gov)

제 2절 국내외 시장 및 산업 동향

1. 국외 시장 동향

□ 전반적인 수소시장

○ 수소시장 규모는 산업용 유통량만으로도 세계시장 208억 $ (자체소비량 230억 포함 총 438억 $)이며, **석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등**에서 꾸준히 이용되어 옴.

○ 수소를 원료로 하는 주요 산업은 그림 2.73에서와 같이 구성되어 있으며, 이 시장은 약 1150억 $에서 2022년까지 1500억 $로 성장할 것으로 예측됨. 이 시장의 대부분은 화학약품 제조 (특히 암모니아)를 위해 사용되며, 기타는 이에 비해 비교적 소규모를 구성함.

○ **수소의 제조**는 그림 2.73과 같이 2016년 현재 천연가스로부터 가장 많이 생산되고 있으며, 오일과 석탄 등에서 주로 생산되는 등, **화석연료를 원료로 96%가 생산되**고 있음. 물을 원료로 하는 **전기분해**로부터 **4% 내외의 소규모로 생산**되고 있음

- 상대적으로 현재 시점에서 수소를 에너지로 활용하는 산업은 전체적으로 연료전지 및 전기차 시장과 연동될 수 밖에 없는 상황으로 **2020년 이후로 이 시장이 거대하게 성장할 가능성을 가지고 있음을 암시**함. 또한 미국 DOE에서 분석한 연료전지 시장현황에 따르면, 대부분의 연료전지는 수소 스테이션에 사용되었으나, 생산되는 전기는 대부분 교통을 위해 사용되었음. 국가별로는 일본과 한국, 중국의 주도로 아시아의 시장이 지속적으로 발전되고 있음을 보여주고 있음.
- 수소에너지와 관련된 산업은 자동차 제조업체 (도요타, 현대, BMW 등)의 FCEV 차량 개발과 함께 발전이 시작되었으며, 이와 동시에 산업에서 쓰이는 수소에너지를 수용하기 위한 수소 제조 플랜트 산업이 발전
- Hydrogen Council은 2017년 당시, 향후 5년간 전세계 수소 산업과 관련된 노동자가 172만명이 증가할 것으로 예측했으며, 이와 동시에 2050년까지 수소 관련 산업 분야가 지속적으로 확대될 것으로 전망함.

·`50년까지 10배의 수소 요구량이 증가할 것으로 예상하고 있으며, 수소교통이 현 대부분의 수소원료 산업보다 2배 이상 성장할 것으로 예측함

· 산업과 주거용 에너지 공급 등이 다음으로 높을 것으로 예상함
· 이를 수소자동차와 연료전지 보급으로 요약될 수 있음

– 대부분의 현황 또는 예측들이 수소 에너지의 경우 수송용 연료전지 시장이 정치형이나 이동형에 비해 2배이상 큰 것으로 분석하고 있으며, 이는 수소자동차 시장과의 연동을 암시함. 따라서 **상대적으로 다른 활용처의 개발이 미진함을 함축적으로 나타내고 있음**

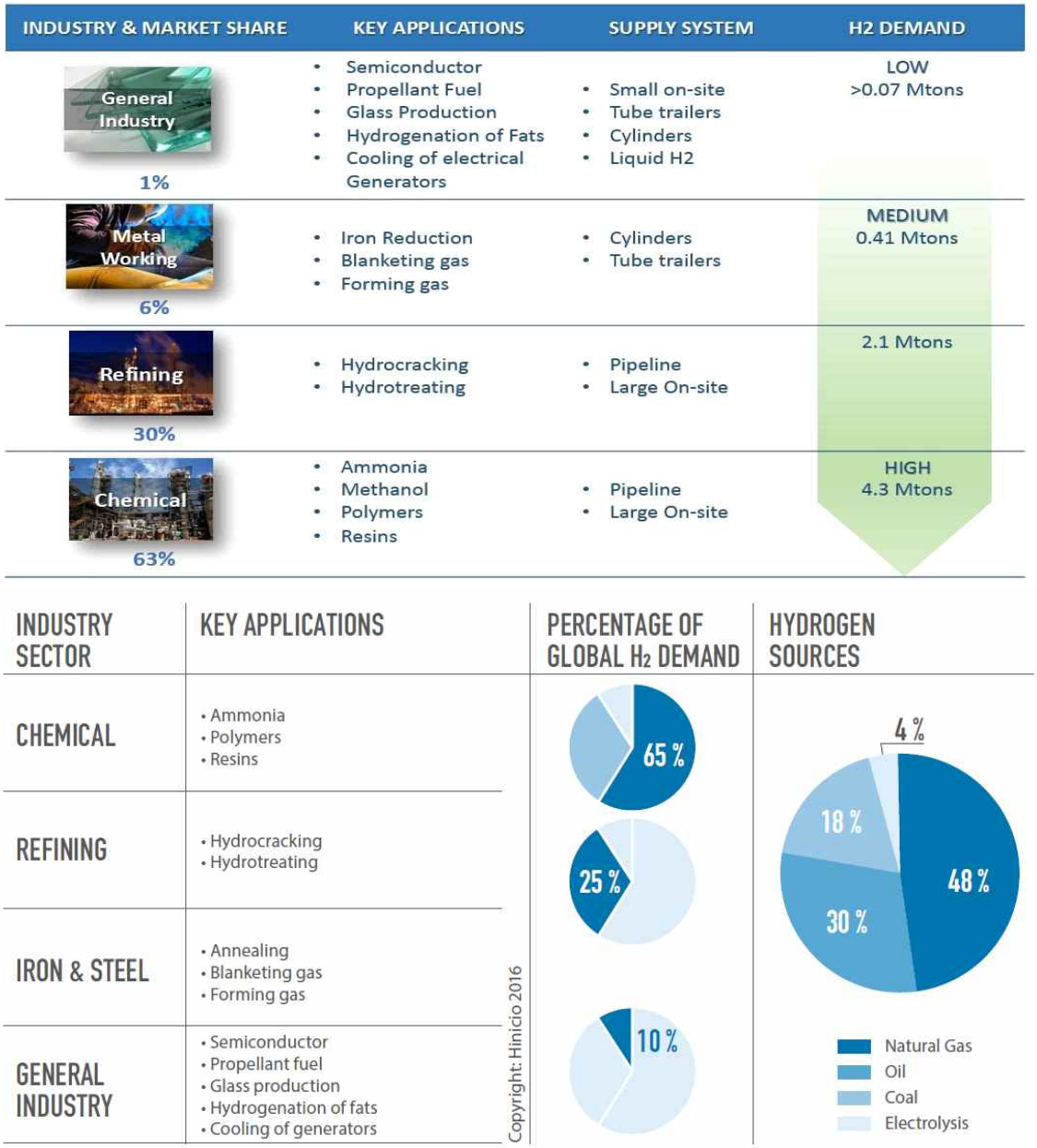


그림 2.73. 수소의 제조 현황 및 수소 산업분야 (Hydrogen from renewable power, IRENA)

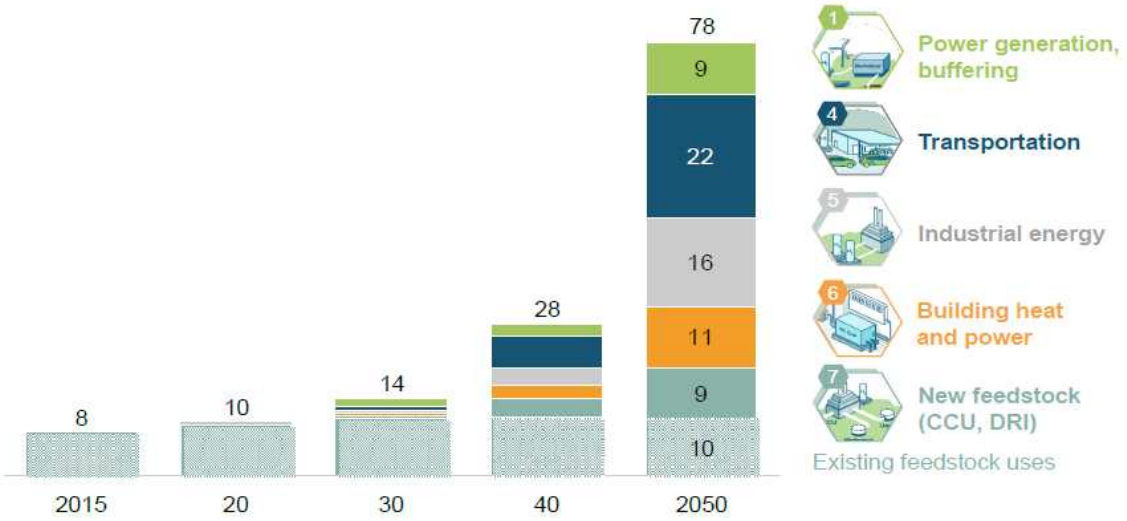


그림 2.74. `50년 수소 요구량 증가 (단위: EJ, Hydrogen scaling up, Hydrogen Conuncil, 2017)

□ 수소 연료전지 시장 (발전, 가정용 연료전지)

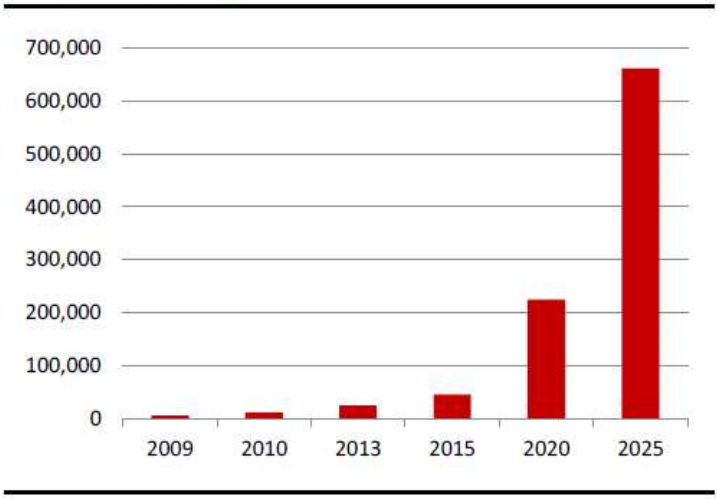
○ 개요

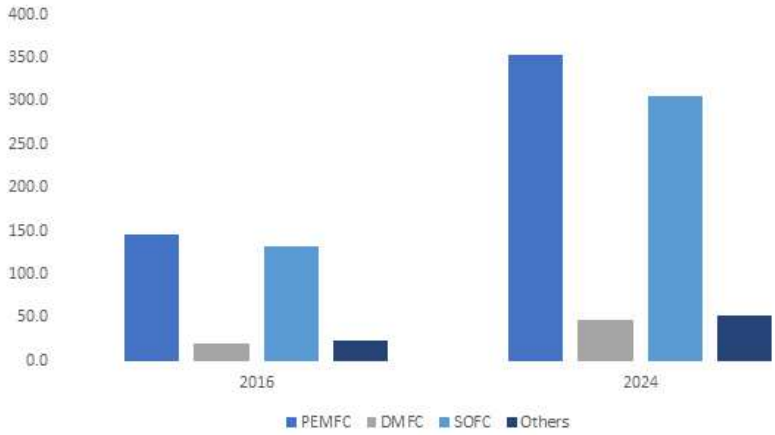
- 미국 DOE는 수소 연료전지 시장이 2020년에 40조원 규모, 국제 에너지 전문 조사기관인 네비건트 리서치는 2023년에 40조원 규모로 분석하고 있음.
- 세계 연료전지 시장동향은, 2012~14년도에 정치형 연료전지(발전형)의 출하량이 확대되었으며, 2014~15년도 이후로 수송용 연료전지의 출하량이 급격히 증가하는 추세임.
- 이 중 특히 정치형 연료전지는 발전 및 가정용으로 세계 각국들은 **국가주도시범 수소타운을 구축 중**이나 초기단계이며, 국가가 수소생산지를 선정하여 소규모 수소기반 주거단지, 산업단지 등을 조성 중이거나, 국가사업 종료 후 지자체 사업으로 연계할 계획임.
- 일본에서 예측한 연료전지 시장은 수소 자동차 시장이 대부분을 차지할 것으로 예측하고 있으며, **그림 2.74에서** 볼 수 있는 것처럼 20년 이후 급격한 성장이 될 것으로 예측하고 있음
- 연료전지 종류별로 비교할 경우 향후 시장 지배적인 것은 PEMFC와 SOFC가 될 것으로 예측되고 있으며, 실질적으로 저자는 발전시장, 후자는 가정용 시장에 주력 연료전지가 될 것으로 예측됨

· 그림 2.75는 `17년 기준 각 국가별 연료전지 시장을 분석한 것으로 아시아와 북미가 시장의 90%이상을 점유하고 있음을 알 수 있음. 아시아 지역은 수소자동차와 주택 건물용으로 일본이 이끌고 있으며, 발전용으로 한국이 이끄는 것으로 분석됨. 북미는 캘리포니아 지역을 중심으로 수소자동차와 발전용 연료전지 시장이 구축되어 있으며, 실질적으로 타 지역은 미비함

○ **(발전용 연료전지)** 발전용 연료전지 시장은 미국 California 주가 시행하고 있는 자가발전 인센티브 프로그램 (SGIP)과 한국 RPS 정책에 의해 주도 되고 있으며, 세계적으로 미국 FuelCell Energy, 한국 포스코에너지 (MCFC, 2,5 MW), Bloom Energy (SOFC, 250kW), 두산퓨얼셀 (PAFC, 400kW) 등 대표 제조사에 의해 지배되고 있음

- E4 tech 분석 보고서는 `17년 기준으로 총 시장 (670 MW)의 약 68%가 수송용, 나머지 32%가 정치형으로 분석한 바 있음. 따라서 주거를 포함한 발전시장은 수송용 시장에 비해 절반에도 미치지 못하고 있는 것으로 분석됨
- 일본은 가정용 연료전지에 대한 집중으로 인하여 후발주자로 되어 있지만, 현 단계에서 효율 향상 등을 통해 시장 진입을 추진하고 있음.
- 그림 2.76은 현재 대표적인 연료전지 사의 성능을 비교한 것으로 수소를 직접적으로 소요하는 것은 두산과 후지, 그리고 하이드로제닉 사이며 각각 전력 효율면에서 두산이 뒤처지는 것을 알 수 있음. 이는 기술현황에서도 분석한 바 있으며, 전반적으로 국내 산업 활성화를 통한 기술 발전이 요구되는 상황임





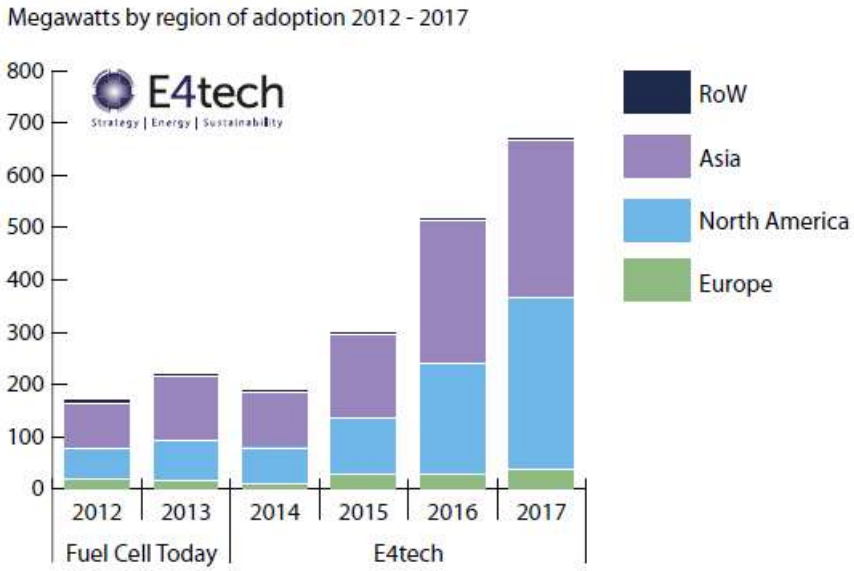


그림 2.75. 수소 연료전지 시장 예측

(위: 단위 억원, 나승두, S-퓨어셀 기업 분석, 2018, 중간 : Fuel Cell Market size 2017-2024, global market insights, 아래 : The fuelcellindustry review 2017. E4 Tech report)

COMPANY	BLOOM ENERGY CORP.*	DOOSAN FUEL CELL AMERICA, INC.*	DOOSAN FUEL CELL AMERICA, INC.*
PRODUCT	Energy Server 5	PureCell 400	PureCell Hydrogen
DEVELOPMENT STATUS	commercial	commercial	pre-commercial
MAIN APPLICATION	on grid power generation, UPS or back-up service	on grid power generation, UPS or back-up service	on grid power generation, UPS or back-up service
TYPE OF FUEL CELL	SOFC	PAFC	PAFC
FUEL	natural gas, bio gas	natural gas, bio gas	hydrogen
NOMINAL ELECTRICAL OUTPUT	250 kW	460 kW	440 kW
HEAT OUTPUT [KW]		301 kW / 212 kW	
AC OR DC	AC	AC	AC
FREQUENCY	60 Hz		
ELECTRICAL EFFICIENCY	53 bis 65 %	43 %	45 %
TOTAL EFFICIENCY		90 %	90 %
VOLTAGE	480 V		
OUTPUT TEMPERATURE		60 °C / 120 °C	120 °C
HEIGHT		250 cm	250 cm
WIDTH		300 cm	300 cm
DEPTH		830 cm	830 cm
WEIGHT	14300 kg		
OPERATION TEMPERATURE	-20 to 45 °C		

*: product data sheet
**: manufacturer's own instructions

그림 2.76. 수소 연료전지 성능비교 (H2 international, 2018.04)

FUELCELL ENERGY SOLUTIONS GMBH**	FUJI N2TELLIGENCE GMBH**	FUJI N2TELLIGENCE GMBH**	HYDROGENICS CORP.**
SureSource	QuattroGeneration	HyCoGeneration	Fuel Cell MW Power Plant
commercial	commercial	commercial	commercial
on grid power generation, UPS or back-up service, Carbon Capture	on grid power generation, fire prevention	on grid power generation	on grid power generation, UPS or back-up service
MCFC	PAFC	PAFC	PEM
natural, bio, landfill gas, LNG	natural gas, LNG	hydrogen	hydrogen
1400 kW	100 kW	100 kW	1000 kW
750 kW	120 kW	100 kW	1500 kW
AC	AC	AC	AC
50 Hz / 60 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz / 60 Hz
47 %	42 %	48 %	49 %
	92 %	92 %	
400 V	400 V	400 V	380 to 480 V
	75 °C	90 °C	70 °C
700 cm	340 cm	340 cm	292 cm
15000 cm	590 cm	590 cm	243 cm
20000 cm	220 cm	220 cm	1219 cm
50000 kg			32000 kg
-20 to 50 °C	-20 to 40 °C	-20 to 40 °C	

그림 2.76 계속. 수소 연료전지 성능비교 (H2 international, 2018.04)

○ **(주거용 연료전지)** 주거용 연료전지 시장은 일본에 의해 주도되고 있으며, 일본의 설치가 곧 세계 시장 동향으로 볼 수 있음

- 그림 2.61에 나타난 것처럼 일본은 23.5만대를 설치하였으며, 20년 140만대, 30년 기준으로 530만대 보급을 목표로 하고 있음
- Global Market Insights는 그림 2.77과 같이 일본 연료전지 시장은 기형적으로 정치형, 특히 주택용 보급으로 인하여 수송용에 비해 정치형이 약 4배가 더 높을 것으로 예측함
- 이것은 세계 주택/건물용 연료전지 시장의 메인이 일본에 있다는 것을 의미함

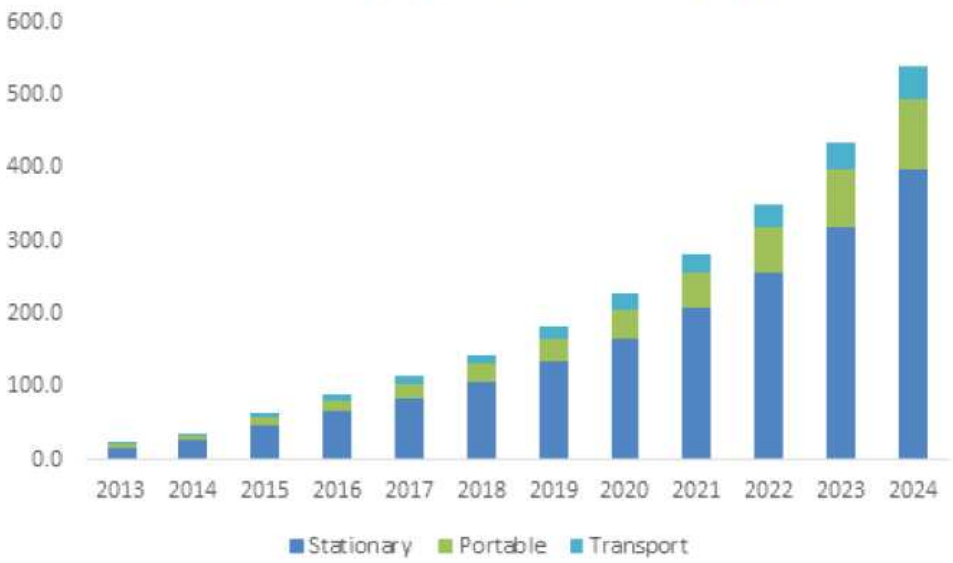


그림 2.77. 일본의 연료전지 시장 (Global Market Insights, https://smtnet.com/library)

- 유럽에서는 `12년 에네필드라는 프로젝트를 통해 시장 보급을 위한 가정/건물용 연료전지 실증 사업을 실시
  · 유럽 10 개국내 1,000대의 연료전지를 보급한 이후 성능 평가 등을 통해 경제성확보 여부, 현재 연료전지의 적합성 등을 평가함
  · 이후 독일에서만 750대 판매 등의 성과를 거두었으나, 이는 국내 시장보다도 미약한 결과로 실질적인 시장 규모로 볼 경우 매우 미비

그림 2.78. 유럽의 에네필드에 참여한 유럽 국가들

○ **(수송용 연료전지)** 이 분야는 수소 자동차 시장과 연동되며, 그림 2.79에 나타난 것처럼 발전용 시장과 수송용 시장을 비교할 때, 발전 용량 면에서 `19년 기준 30배 정도 차이가 있다는 것을 알 수 있음

- 현 단계에서 전세계에서 추진하고 있는 수소사회 구축의 시작 단계를 수소자동차 보급에 의한 온실가스 저감에 초점을 맞추고 있기 때문이며, 아울러 화석연료와 비교할 경우 발전 단가면에서 경제성 확보가 어렵기 때문임
- 현재 `17년 기준으로 천연가스 연료비 단가는 약 89원/kWh이며, 수소 연료전지 기준으로 효율이 100%로 가정할 경우 약 120 원/kWh 내외임. 그러나 실질적으로 50% 내외이므로 약 240원/kWh까지 증가하게 됨

*** 수소 단가를 4000 원/kg으로 가정 (이상적인 조건으로 수소 0.111kg이 3.7 kWh 생산)**

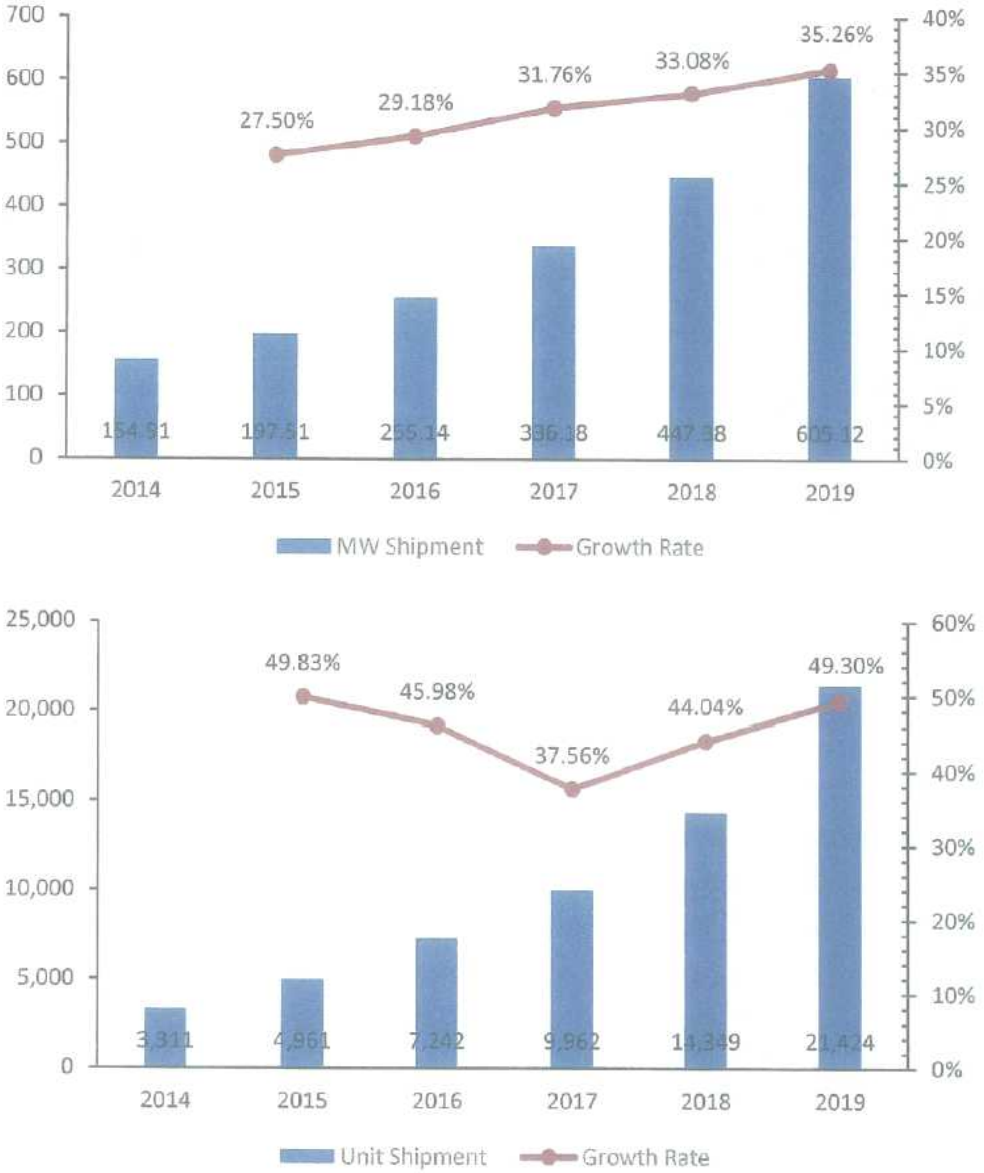


그림 2.79. 발전용 연료전지 시장과 수송용 연료전지 시장의 비교 (환경백서 2018)

- 수소 자동차는 가솔린 자동차와 비교할 경우 연비 면에서 유사하기 때문에 가격 경쟁력을 가질 수 있음

· 표 2.17은 각 엔진별 최종 효율을 비교한 것으로 연료전지 자동차 엔진의 효율이 가솔린에 비해 2배이상 높기 때문에 수소 자동차의 경쟁력이 발생하는 것으로 분석될 수 있음

표 2.17. 자동차 엔진효율 비교 (단위: %)
(전기자동차 내연기관 자동차 완전히 대체할수 있을까?, 대학생 신재생에너지 기자단, 2016.05.11.)

엔진 종류	Well to Tank		Tank to Wheel	전체효율
	연료생산효율	송전손실	차량효율	
가솔린엔진	88	0	18	16
디젤엔진	89	0	22	20
하이브리드	88	8	30	24
전기차	42	8	80	31
연료전지차	75	0	48	36

□ 수소 자동차 및 충전소 시장

○ 개요

- 수소 자동차 분야는 수소 경제를 구축함에 있어 CO_2의 직적접인 저감이 가능하고 기존 화석연료 경제와 유일하게 경쟁력이 있는 분야로 많은 국가에서 첫 번째로 기술개발 적용을 검토하고 있음

· 선진국을 포함하여 다양한 국가에서 수소자동차 보급할 것으로 예측
· 세계 수소자동차 시장은 `20년을 기점으로 급격한 성장세를 나타낼 것으로 예상하여, 그림 2.79에서처럼 100만대/년 시장으로 성장할 것으로 예측
· 전세계 자동차 판매시장은 `18년 기준 년간 9,300만대 수준으로 향후 `30년 목표 달성이 된다고 해도 수소자동차 비중은 1% 내외로 예측됨

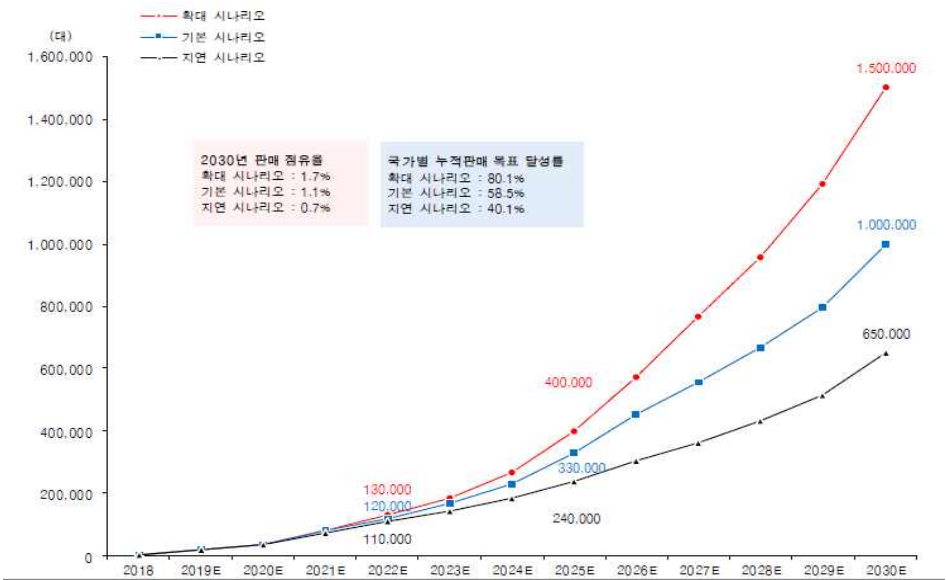


그림 2.79. 글로벌 수소차 보급 전망 (이재일외, 수소차 시대의 개막, 유진투자증권, 2019)

- 수소 자동차 분야는 기후변화협약으로 인한 전세계적인 탄소저감배출을 만족하기 위해 시장이 급부상하고 있으며, 표 2.17에 나타난 것처럼 가솔린 엔진에 비해 효율이 좋은 전기차와 수소자동차는 현 경제체계에서 유일하게 경쟁력 있는 분야로 분류

  *** 단 가솔린의 경우 세금 포함가격이며, 현 수소는 세금이 없음을 감안해야 함**

- 그래도 수소 자동차 시장은 전체 자동차 시장에 비해 극히 미비한 수준임이며, 전기차 시장과의 경쟁관계가 구축되어 있어 실질적으로 시장 전망은 불투명함
  - `16년 기준 미국 전체 자동차 시장의 0.48 %가 전기차로 구성되어 있으며, 전기차 시장의 7%가 수소 자동차 시장임. 유럽은 전체 시장의 1.4%가 전기차 시장이며 이중 수소 자동차는 더 미비한 것으로 사료됨
  - 수소 자동차는 전기차에 비해 장단점이 명확하나, 경제성 분야로 인하여 시장 형성이 아직은 어려울 것을 판단
  - 표 2.18은 이것을 정리한 것으로 경제성 분야에서 압도적으로 전기차가 유리하나, 사용자 편리성에서 수소 자동차가 유리한 것으로 요약될 수 있음

표 2.18. 전기차와 수소자동차의 장단점 비교 (이재일외, 수소차 시대의 개막, 유진투자증권, 2019)

종 슈	장 점	단 점
전기차	– 무공해 (배기가스 없음) – 경제성 (저렴한 전기단가 및 차량단가)	– 긴 충전시간 – 짧은 주행거리 및 온도에 따른 효율 변동
수소자동차	– 무공해 (배기가스 없음) – 짧은 충전시간 및 긴 주행 거리	– 비 경제성 (수소 단가, 차량가격) – 별도의 충전인프라가 필요

○ 세계의 `30년 기준 수소자동차 보급 전망

- 수소 자동차 보급을 위한 목표는 현재는 미국 캘리포니아, 일본, 한국을 중심으로 하고 있으나, `30년 기준으로 유럽내 국가 기준으로 시장이 구성될 것으로 전망하고 있음

- 표 2.19은 전세계 자동차 보급 계획을 요약한 것으로 실질적으로 현재에 비해 유럽이 수소자동차 보급에 주도적이 될 것으로 분석되고 있음.
  · 전체 시장에서 수소자동차 시장 자체는 크지 않을 것으로 예측되며, 현재 자동차 보급 로드맵 상으로 평가할 경우 한국은 현단계에서 전체 자동차 시장 규모 대비 목표가 높은 것으로 분석될 수 있음
  · 유럽은 온실가스 저감에 가장 공격적인 정책을 펴고 있어 계획상 시장 보급이 높을 것으로 예측되며, 한국과 일본은 현 선도적인 기술소유국가로서 시장 지위를 유지하기 위해서 공격적 전망을 수립한 것으로 분석됨

표 2.19. 수소자동차 보급 전망 (이재일외, 수소차 시대의 개막, 유진투자증권, 2019)

	미국	중국	한국	일본	독일	영국	프랑스
`18년 현황 (대)	3,700	1,200	800	2,300	900	900	900
`30년 보급계획 (천대)	1,000	1,000	630	800	1,800	1,600	800
`30년 충전소 보급계획 (개)	123 (`22년)	1,000	520	900	1,000	1,000	600
수소차/충전소 (대/개소)	-	1000	1211	889	1800	1600	1333
산차시장규모 (만대)	1,782	2,808	181	526	376	273	268
수소차 판매 점유 (%)	0.9	1.3	8.8	3.2	7.9	8.9	4.8

○ 수소 충전소 시장은 수소 경제의 인프라로서 국가 차원에서 기본적으로 구축되어야 하는 분야임

- 충전소 보급 계획은 표 2.19에 있는 것처럼 각국마다 차이는 있으나, 평균 수소자동차 1300 대당 1기 건설로 계획되어 있음

- 일본은 가장 작은 비율로 건설되고 있으며, 독일이 가장 높은 비율로 건설됨. 프랑스가 평균에 가까운 수로 건설 계획되고 있음

- 수소자동차 등록이 적은 상황에서 수소충전소 개수는 제한적일 수 밖에 없으며, 시장 형성이 어려우므로 자생력을 갖출때까지 보조금으로 활성화 정책이 시행

○ 국가별로 다양한 보조금 정책이 있으며, 한국, 중국, 일본은 충전소 설치 비용의 50% 이상을 보조해주는 것으로 보급 정책을 활성화하고 있음

- 수소 주유소의 자생력은 일정이상 수소자동차 보급이 완료된 시점에서 구축될 것으로 전망되기 때문에 현재 상황에서는 `30년 가까지 되어야 시장이 형성될 것으로 예상되며, 일반 주유소와의 복합 주유소 형태로서 구축될 것으로 전망

2. 국내 시장 동향

□ 전반적인 수소시장

○ 국내 수소시장 규모는 8,000억 원 수준으로, 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준히 이용

- 아직은 수소 만의 별도 시장이 아닌 산업분야의 재료로서의 수소시장이 활성화 되어 있는 것으로 평가됨

- `16년 기준 수소생산량은 2,428,770 Nm³/h로 연간 약 171만 톤의 수소가 생산되며, 대부분 자체 공정에서 소비하고 약 14%(약 24만 톤)이 외부 판매됨

*** 생산설비의 연간 가동시간을 8,000시간(대략 330일)으로 가정하여 계산**

- **(수소 공급가능량)** 조사 시기와 기관에 따라 다르지만, 그림 2.80과 같이 **연간 160만 톤 ~171만톤정도가 생산**되며, 대부분 자체 공정에서 소비하므로 이를 제외할 경우 별도의 수소 경제 혹은 수소 도시내 공급 가능향 양은 12,216 nm3/hr (8,636 톤/년) 규모임 (신재생에너지 백서 2018 기준)

· 수소 활용 가능한양 8,636 톤/년은 수소자동차 연비 96 km/kg H_2를 고려하면, 1대 자동차가 년간 30,000 km 주행한다고 가정하면, 약 312 kg/대이므로 약 27,700대 운행 가능 수소임

그림 2.80, 지역별 수소생산량 및 수소공급량 (신재생에너지 백서, 2018)

- **(국내 수소 공급처)** 국내 수소 생산은 울산과 여수에 의해 대부분이 생산되며, 그 중에서 덕양이 수소의 대부분을 유통하고 있음. 외국계인 에어리퀴드사와 린데사도 유통을 하고 있는 것으로 조사되었으며, 일부를 제외한 수소 생산방식이 화석연료 기반의 생산 방식임
- **(수소제조 방식별 단가)** 나프타개질, 소금물전해, 천연가스 개질의 순이며, 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 양에 따라 다르지만, 대략 kg 당 3~6천원 수준이며, 현재 **충전소에서의 수소판매가격은 8천원/kg 내외**임.

표 2.20. 국내 산업용 수소중 유통판매량 (신재생에너지 백서 2018)

업체명	원료공급처	지역	제조방식	생산능력(㎥/hr)	
				2017	비고
덕양	한화케미칼	여수	소금물분해	35,000	190,000* (덕양 홈페이지 자료)
	SK 어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	롯데정밀화학	울산	소금물분해	13,000	
	한화토탈	서산	나프타분해	9,000	
	태광화학	울산	프로판탈수소	13,000	
	LG화학	여수	소금물분해	11,000	
	백광화학	군산	소금물분해	5000	
		여수	소금물분해	1500	
	롯데케미칼	서산	나프타분해	3000	
		여수	나프타분해	3000	
	롯데BP화학	울산	B-C분해	2500	
	덕양(울산3공장)(자체생산)	울산	NG(LPG)분해	50000	
	덕양(남동공단)*	인천		100	
	소계			156,100	
SPG케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올개질	2000	
	현대제철	당진	COG정제	1500	
	롯데케미칼, LG화학 현대오일	대산	나프타분해	10000	
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타분해	45000	
	소계			58,500	
에어리퀴드	에어리퀴드1	여수	개질	10,000	
	에어리퀴드2	여수	개질	38,000	
	소계			48,000	
린데	린데	기흥	천연가스개질	1200	
	린데	포항	나프타분해	1200	
	소계			2,400	
SDG	대한유화	울산	나프타분해	5,300	
	태광산업	울산	나프타분해	2,000	
	효성	울산	프로판탈수소	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	소계			23,300	
대성산업가스	대성산업가스	파주	메탄올	2000	
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타분해	5200	
SPG산업	롯데BP화학	울산	나프타분해	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	8,000	
	효성	울산	프로판탈수소	2,000	
	소계			16,000	
총계**				311,500	

* 덕양 자료
** 총 유통가능량: 311,500㎥/hr은 24시간, 년 330일 가동 기준 220,275ton H_2/yr 에 해당 (자료: 신소재경제신문, 2018.3)
*** 24만톤 (부생수소를 활용한 실증화단지 산업발전 로드맵 수립, 한국에너지공단, 2017)

□ 수소 경제 관련 수소 시장

○ 수소 경제와 관련된 시장은 없으나, 연료전지에 의한 발전시장이 일부 존재

- 에너지 관리 공단에서 `18년 발표내용을 보면, 10 kW 이하 연료전지를 4.7 MW 공급하였으며, 10 kW 이상 발전용으로 251 MW를 공급한 바 있음
- **(발전용)** 8차 전력 수급계획에 따라 연료전지 시장은 `20년 531 MW, `30년 746 MW까지 확대될 것으로 발표됨.
- **(주거용)** 에너지 관리 공단에서 보급중인 연료전지 주택은 상대적으로 미비하며, 표 2.16에서 나타난 것처럼 매년 200여개가 증가 되고있음. 현재 규모를 기준으로 일본의 1.1 % 수준임

○ 2019년 1월 17일 발표된 “수소경제 활성화 로드맵”은 표 2.21과 같이 요약될 수 있으며, 이는 곧 국내 수소 경제 시장 예측치로 귀결될 수 있음

표 2.21. 수소 시장 전망 (수소 경제 활성화 로드맵 (`19.01.17, 관계부처 협동)

		`18	`22	`40
수소자동차		1.8 천대	8.1만대	620만대
연료전지	발전용	307 MW	1.5 GW	15 GW
	주거용	7 MW	50 MW	2.1 GW

○ `18 신재생에너지 백서를 기준으로 현단계에서 활용 가능한 수소는 8,636 톤/년이며, 수소 자동차 27,700 대 운행이 가능한 양으로 계산되며, `22년 8.1만대와 발전 등의 수소를 위한 공급량 47 만톤/년을 달성하기 위해서는 현재 생산량대비 46 만톤/년의 생산설비를 갖추어야 함

- 현재 생산 가능한 총량이 172만톤/년이므로 현 생산 시설 대비 27%를 `22년까지 증대해야하는 수준임
- 수소경제 활성화 로드맵 목표 달성을 위해서는 현실적으로 국내 생산은 불가능하다고 할 수 있으므로 별도의 수소 공급 방안이 필요할 것으로 예측됨

○ Mckinsey 리포트에 의하면 2050년 대한민국 내에서 발전, 수송, 산업, 건물의 수소 사용량은 다음 그림 2.81과 같이 나타날 것으로 분석됨. 이를 통해 국가 전체 에너지 량의 약 21% 규모를 수소 에너지에 의존할 것으로 예상함.

○ 최종적으로 2050년에 들어설 경우 수소 산업의 경제 효과는 약 70조 원, 고용 효과 창출은 약 60만 명, 그리고 수소전기차 분야에서 연 매출 25조 원의 달성이 기대되므로 지금부터 수소 사회에 대비해서 구체적이고 공격적인 전략을 마련하는 것이 매우 중요함.

□ 수소 연료전지 시장 (발전, 가정용 연료전지)

○ 대한민국은 이미 발전용 수소 연료전지의 상용화에 성공하였고 미국과 더불어 가장 큰 시장을 보유하고 있음.

- 현재 국내에 설치된 발전용 연료전지 설비는 아래 그림 2.71에서 볼 수 있듯이 총 294MW이며, 앞으로도 지속적인 성장이 나타날 것으로 판단됨.
- 국내에서는 두산이 미국 CEP 인수 및 국내 퓨얼셀파워를 합병함으로써 발전용 연료전지 시장을 선도하고 있고 그 외에도 에스퓨얼셀, LG 퓨얼셀시스템즈가 발전용 연료전지 사업에 투자하고 있음.
- 실질적으로 세계 1위 업체였던 포스코는 잠정적으로 시장 진출 답보상태임
- 국내에서는 RPS 정책의 영향으로 2017년 기준 누적 설치용량은 251MW로 전체 신·재생에너지설비 설치용량 15.7GW 대비 1.6% 수준. 대표적인 성과로는 포스코에너지가 2013 년 경기도 화성에 58.8MW 급 세계최대 연료전지 발전소를 건설한바 있으며, 두산은 2017년까지 부산 해운대에 30.8 MW 급 도심형 연료전지 발전소를 완공한 바 있음

○ 가정용 및 건물용 연료전지에서는 대한민국은 아직 보급 초기 단계로, 정부의 보조금에 전적으로 의지해야 하는 시장 구조로 되어 있음.

- 가정용 및 건물용 연료전지 분야에서는 선도 기업이 전무하며, 가격 경쟁력에서도 일본에서 보급되는 연료전지에 크게 부족한 실정
- 실질적으로 현 단계에서 이 분야 시장은 일본을 제외하면 전무한 상황임

그림 2.81, 국내 50년 산업별 수소 요구량 분석 및 경제 효과
(Hydrogen meets digital, Hydrogen council, 2018)

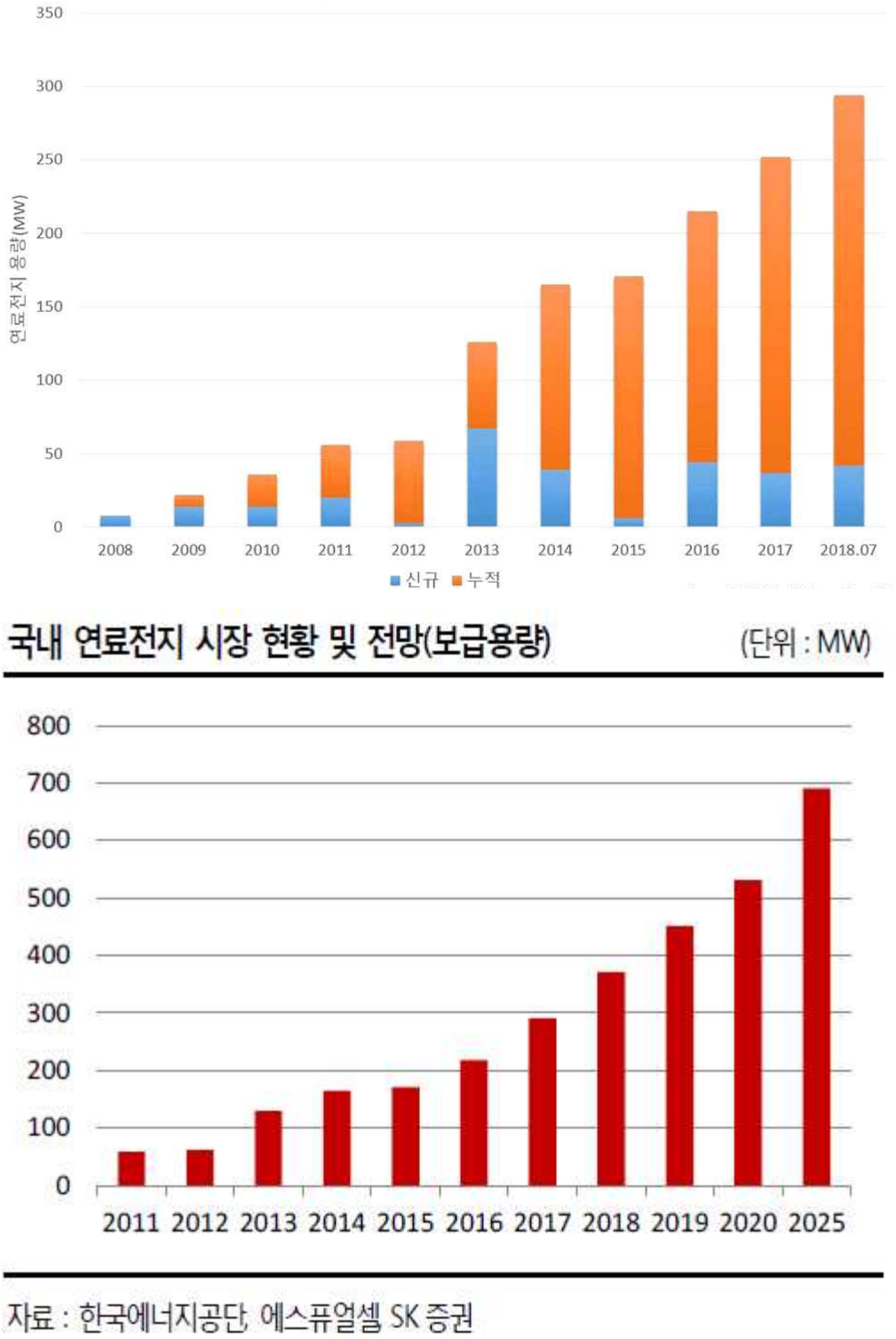


그림 2.82, 국내 연료전지 시장 현황 및 예상
(위: 수소에너지 연관 산업시장 분석 2018, 아래 나승두, SK 기업 분석, 2018)

□ 수소 자동차 시장

○ 세계 최초로 수소자동차를 양산화한 기술력을 갖추었지만, 대중적인 이해 부족, 높은 가격 진입 장벽, 그리고 수소 충전 인프라 부재로 시장 경쟁력 측면에서 타 국가에 밀린 상황

– 현재 국내 상황상 수소자동차 시장이 없는 것으로 판단. 이는 향후 국가기술 로드맵에 따라서 향후 시장 형성이 될 것으로 예측

– 수소자동차의 핵심 기술 중 국산화 된 것이 전무한 상황에서 핵심 기술, 특히 엔진 스택 등에 대한 기술 개발 요건이 갖추어져야 경쟁력이 있을 것으로 사료

· 국내 수소 자동차 국산화 기술은 스택 부분 중, 소모품 부분, 구동모터, 감속기, ECU 등에 치우쳐 있으며, 수소저장장치와 스택의 막 전극 접합체 등의 핵심 기술은 부족

· 대부분의 보고서에서 기술 경쟁력 부분히 현재 중·하로 평가되고 있음

– 현대자동차에서는 수소자동차의 미래 비전을 선포하고 공격적인 투자를 선언하였고 이에 따라 아래 그림 2.83과 같이 2020년 11,000대 규모에서 2030년 50만대 이상의 수소자동차를 생산함으로써 국내 시장의 급속 성장이 이루어질 전망

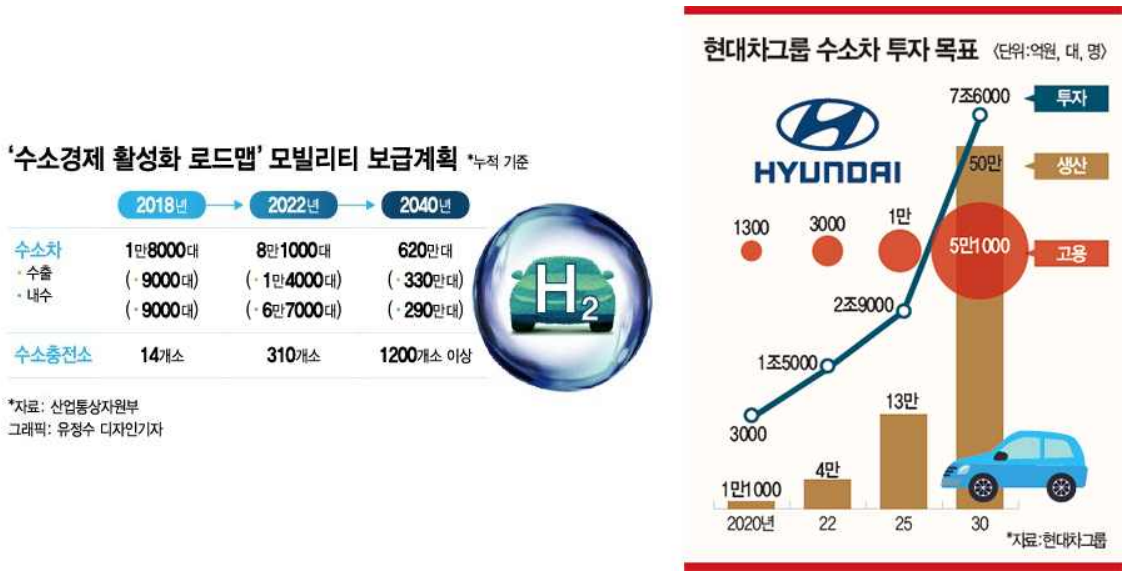


그림 2.83. 현대자동차 투자 목표 (현대차 홈페이지)

○ 수소 버스는 2019년 6월부터 2020년 12월까지 전국 5개 도시에서 총 30대가 시범적으로 운행될 계획이고 실증이 종료될 경우 총 1,000대의 보급 계획을 갖추고 있음. 향후 2040년에는 총 4만대의 수소 버스를 운용할 계획임.

○ 수소 택시는 울산에서 2016~2018년 동안 10대가 시범 운용되었고 산업통상자원부에서는 2040년까지 8만대로 규모를 확대할 예정임.

○ 수소 트럭도 보급을 시작해서 2021년부터 청소차, 살수차 등 공공부문의 화물 특수차를 중심으로 14,000대를 차례로 수소 트럭으로 바꾸고 2040년까지 총 3만대를 보급할 계획임.

○ 현재, 수소 자동차 시장은 유례없는 주목을 받고 있고 각 기업에서도 공격적인 투자가 진행 중임. 그러나 자동차 기술과 비교하면 충전 및 수소 생산 인프라는 열악하고 법률로 인한 규제가 많아서 지속적인 투자와 지원이 받쳐주지 않는다면 성장하던 수소 자동차 시장은 그 동력을 유지하기 어려울 수 있음.

□ 수소 인프라 시장

○ 대한민국은 연간 약 200만 톤의 수소 생산 능력을 갖추고 있으나 90% 이상이 화석연료로부터 생산되는 부생수소이고 그 중 대부분이 자체 소비가 되기 때문에 실제로 시장에 나오는 수소의 양은 연간 26만 톤 규모임.

- 그로 인해, 시장에 공급되는 수소는 화석연료가 대량으로 소비되는 화학 공장 일대(울산, 여수, 대산)에 집중되어 있고 수소의 대량 수송 인프라가 구축되어 있지 않은 현 상황에서 수소 공급의 탄력성이 부족함.

○ 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 2040년까지 연간 526만톤으로 생산량을 확충하고 가격을 3,000원/kg 으로 낮출 계획이면서 Green hydrogen 산유국으로 도약한다는 목표가 있으므로 향후 대부분의 수소 생산은 수전해와 해외 생산 수소를 활용할 전망

- 신재생에너지를 활용한 수전해 방식의 시장 규모가 큰 폭으로 확대될 전망이며 이에 따른 수전해 스택 생산 및 부품 시장이 활성화될 것으로 예측

○ 수소 운송은 크게 파이프라인 공급, 튜브 트레일러 수송, 탱크로리를 통해 액화수소 공급으로 나뉠 수 있음.

- 액화 수소 이송에는 비용이 너무 많이 들기 때문에 현재의 기술로는 소용량은 튜브 트레일러 공급으로 하고 향후 파이프라인 공급을 하는 형태로 추진

○ 수소 경제가 활성화에 따른 수소 운송량은 수소 배관망을 통한 이송이 경제적임. 따라서 그림 2.84에서 볼 수 있듯이, 2030년까지 수소 생산기지에서부터 공급되는 수소 배관망의 계획을 수립함

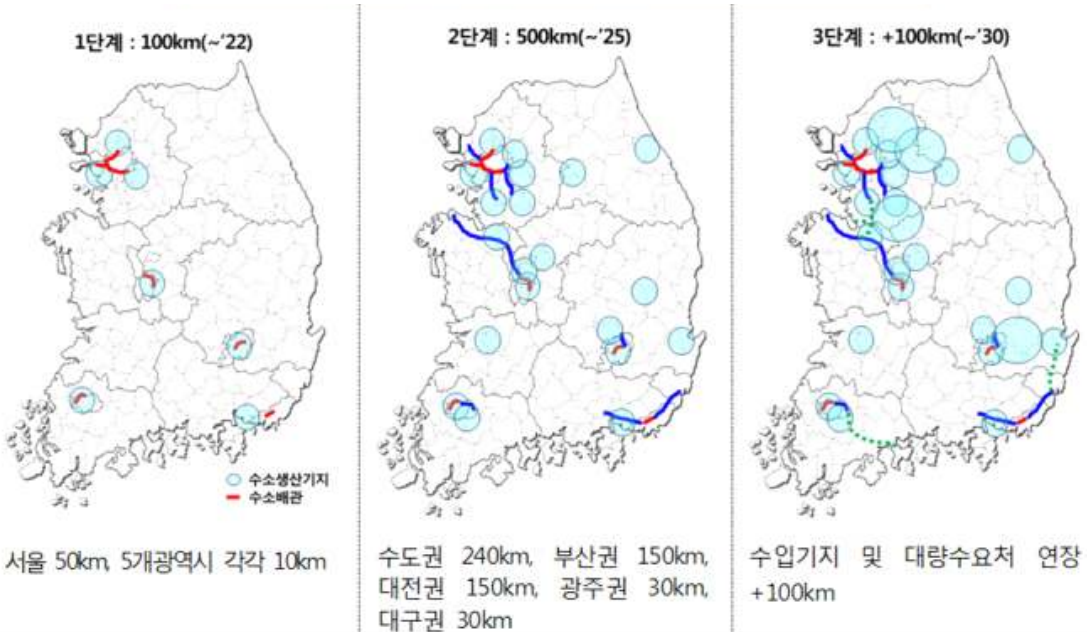


그림 2.84. 수소 배관망 구축 계획

○ 수소 충전소는 현재 대한민국 내에 15개소에 불과하지만 2022년까지 310개, 2040년까지 1,200개소의 수소 충전소를 건립한다는 계획을 수립함. 이러한 수소 충전소 건립 계획은 수소전기차 보급 계획과 맞물려서 같이 움직여야 시너지 효과가 날 수 있을 것으로 보임.

- 그러나, 수소 충전소의 설치 위치나 장기적인 운영방안이 구체적이지 않기 때문에 이에 대한 세밀한 논의가 필요함. 특히 수소충전소 운용에 있어서 도로망의 정보, 일 충전 대수에 따른 경제성 평가가 면밀하게 검토되지 않으면 민간 사업자의 투자까지 확대되기 어려우므로 이에 대한 구체적인 계획 마련이 필요함.

□ 주요업체

○ 수소 연료전지 관련 기업 (출처: 수소에너지 연관산업 시장 분석, H2KOREA)

업체명	사업분야
JNTG	수소연료전지 부품사업
KPE	태양광 및 플랜트 건설 공사
LG전자	SOFC
LG화학	유화/합성수지/산업재/리튬 기초 화학물질
LIG넥스원	PEMFC, DMFC
STX중공업	SOFC
경기그린에너지	연료전지 발전소 운영
경동나비엔	건물용 SOFC 시스템 개발
경동에버런	PEMFC

극동씰테크	PEMFC
나라셀텍	연료전지 가스 공급 장치, 연료전지 평가 장치
넥센나노텍	연료전지 촉매
누트파이브	연료전지 BOP 연구 개발 제조
뉴테크	특수표면처리 전문 업체, SOFC셀 코팅생산
다쓰테크	연료전지 인버터
대신메탈라이징	SOFC
대양산업	내열, 내마모성 세라믹 부품 제조
대정화금	시약, 원료의약품 제조 및 판매, MCFC
대주전자재료	MCFC, 전극재료 및 그래핀
데베트론코리아	계측장비, 소프트웨어, 센서, PEMFC
도암엔지니어링	설계, 감리, 엔진니어링, 지능형분전반
동서산전	SOFC, 수배전반 전기장비 제조
동아화성	PEMFC, 가스켓
두산퓨얼셀	PAFC, PEMFC
디투엔지니어링	종합엔지니어링 회사, 연료전지
리빙케어	PEMFC 연료전지 평가용 극저온 항온 챔임버
말레동현필터시스템	공기공급시스템(대기공기 흡입 스택 공급 장치)
맥테크	세라믹 소재 부품,SOFC
미코	SOFC 세라믹 부품 제조
부산도시가스	가스 제조 및 배관 공급업
부산연료전지발전	연료전지 발전
비에스시시	연료전지발전 시스템 BOP
빅텍	SOFC, 전원 공급 장치
삼성엔지니어링	SOFC
삼성전기	SOFC
삼천리	연료전지 발전 전력량 처리 시스템
성림엔지니어링	중기(열)판매, 신지생에너지, 집단에너지공급사업
세명기업	공기공급시스템(대기공기 흡입 스택 공급 장치)
세방전지	PEMFC
세우산전	BLDC모터, PEMFC
세진엔지니어링	연료전지 주택 사업
수성엔지니어링	연료전지 지열히트펌프
슝크카본테크놀로지	연료전지 스택 및 분리판 연구 개발
신성엔지니어링	신재생에너지사업
싸이텍코리아	연구 장비
쌍용머티리얼	SOFC
씨에이치피테크	연료전지 평가 장비, 수소제조반응기
씨엔엘에너지	연료전지 성능 평가 장비, 연료전지 스테이션
알티엑스	연료전지 백금촉매

에스퓨얼셀	PEMFC
에이아이텍	연료전지 핵심부품소재
에이알텍	PEMFC
에이치엠티	가속기제어시스템, SOFC
에이치플러스에코	건물용 연료전지
에프셀텍	세라믹 소재, 전자부품, SOFC 부품
엘지퓨얼셀시스템즈코리아	SOFC 기술방식 발전용 연료전지 연구개발
엘켐텍	PEM형 수소 발생기 및 연료전지 부품
영진블루텍	MCFC, 폐기물소각스팀보일러
예스코	MCFC
오덱	개질 및 전극 촉매 연구개발
오토엔	제철소 자동화설비, 연료전지 분리판 용접(MCFC)
와이피피	MCFC, ESS
우민전기	전기 기계설비 소방 공사
원아테크	연료전지 평가 장비
원익머티리얼즈	연료전지용 수소저장물질 개발
원진일렉트로닉스	수소공급 시스템, 공기공급 시스템
이지파워	MCFC, ESS
일도에프엔씨	연료전지 분리판
제이앤티지	수소연료전지 부품사업(기체확산층)
지엠비코리아	연료전지관련 워터 펌프
지필로스	연료전지 컨버터
창성	MCFC
청파이엠티	연료전지 관련 교육장비 제조
카본나노텍	PEMFC, 탄소나노튜브
칸세라	촉매 소재, SOFC
코오롱글로텍	스택 핵심소재(MEA, GDL), 공기공급 시스템(전기생산 및 기체확산 핵심소재)
코오롱인더스트리	합성섬유 및 연료전지 소재
태영산전	EBOP
텍크스틸	MCFC
트윈에너지	MCFC, SOFC 연료전지 구성요소 제조판매
티씨에스원	연료전지 발전
파워로직스	PEMFC
파워셀코리아	PEMFC 스택 및 개질기 개발
포스비	SOFC
포스코에너지	MCFC
프로파워	PEMFC, DMFC 시스템
플라스포	연료전지용 인버터
피엔피 에너지텍	PEMFC, MCFC, SOFC, 수소생산 및 저장
한국광유	SOFC

○ 수소 충전소 관련 기업 (출처: 수소에너지 연관산업 시장 분석, H2KOREA)

분류	업체명	주요사업
건설	대흥산업	플랜트
	바스텍	패키지 충전소 구축
	넬-덕양	패키지 충전소 구축
	이엠솔루션	충전소구축(on-site)
	도원피앤비	스마트수소충전소
	제이엔케이히터	수소제조장치, 수소개질장치, 충전소구축(on-site)
	동성정공	설비, 부품공급
	MS이엔지	설비, 부품공급
	대정밸브	설비, 부품공급
	세원이엔이	수소배관, 설계·토목·건축·전기
	에이치에스티	설계·토목·건축·전기
	케이퓍기술	설계·토목·건축·전기
압축	송원시스템	초고압 프레스
	지티씨	압축기, 석유화학산업, 전력산업 등
	프렉스에어코리아	산업용가스제조업 (압축수소가스, 액체수소공급)
	범한산업	고압공기압축기 제조·도매
생산	선도화학	특수가스(수소 등)
	메타비스타	액체수소 및 극저온 기술
	Air Liquide	수소발전, 수송, 액체 및 기체수소공급, 인프라 제공 등
	EMK	수소공급
	GS 칼텍스	수소공급
	Linde	수소공급
	SDG	수소공급
	SK에너지	수소공급
	SPG산업케미칼	수소공급
	광신	수소공급
	덕양	수소공급
	효성	수소공급
	에어프로덕츠코리아	수소발전, 수송, 액체 및 기체수소공급, 인프라 제공 등
공급	거봉한진	연료공급 고압밸브
	한국선급	액화수소 운송기술
	조광아이엘아이	안전, 감압밸브류 제조
	대덕가스	가스제조 및 배관공급 사업 (초고순도 수소 등)
저장	서머텍코리아	차량용 수소저장용기 개발 연구
	일진복합소재	복합재료 고압용기 개발 및 판매
	인실리코	수소제조저장

	태광후지킨	수소저장 탱크
	엔팩	수소 고체 저장
	세보에너지	삼중수소 저장용기 설계 및 제작
	이노컴	고압가스저장 용기
	모토닉	고압밸브장치, 수소저장
	PAX CYLINDERS	CNG 저장탱크
충전	한국유수압	유압툴&시스템, 고압테스트장비, 수소충전
제어	세화하이테크	평가 장비
	천세산업	수처리용 정량펌프의 설계·제작·판매
	한국다쓰노	수소충전소 디스펜서
	알티아이엔지니어링	수소제조용 개질기, Pilot Plant 설비제조
	퓨리텍	수소정제기
	삼원테크	수소가스 발생장치
	신코스모스전기코리아	수소가스검지기
	하마이코리아	수소가스밸브
	KITZ	수소 밸브
	하이록코리아	고압 밸브장치
	테라텍	게이트밸브, 가스정제 설비
	대성산업가스	가스정제 설비, 가스제조장치

○ 수소 전기차 관련 기업 (출처: 수소에너지 연관산업 시장 분석, H2KOREA)

분류	업체명	주요사업
연료전지 스택	현대자동차, 현대모비스	모듈
	현대모비스	막전극접합체
	제이엔티지	기체확산층
	현대제철	분리판
	현대케피코	셀전압 모니터링
수소공급장치	현대모비스	모듈, 수소재순환장치
	세종공업	워터트랩, 밸브 및 센서류
	한온시스템	모듈, 공기압축기
	코오롱인더스트리	가습기, 분리막 소재 국산화 진행 중
열관리장치	한온시스템	모듈, 라디에이터
	명화공업	전동워터펌프
	세종공업	냉각수 압력, 온도센서
수소저장장치	동희산업	모듈
	일진다이아	수소저장용기
	영도산업	수소 충방전 장치
	모토닉	고압부품

3. 시장 동향의 시사점

□ 전반적인 수소시장

○ 국내·외 수소 시장 요약

- 현재 수소를 원료로 하는 산업 시장만이 438억 $ 규모이며, 국내를 포함한 전체 수소경제 관련 시장은 미약하며 이제 첫 걸음 수준으로 분석
- 수소 교통을 포함한 시장이 약 70% 수준이 될 것으로 분석되며, 인프라, 연료전지 발전시장 등이 나머지 30% 내외로 분석됨

○ 잠재적인 시장 확대 가능성

- 각 국가별 시장은 아직 미비하여 국가별 로드맵을 통한 시장 확대 정책 추진
- 각 국가별로 수소 로드맵을 작성하여 이에 따라 수소 경제를 구축 중에 있음
  · 일본 : 공급확대를 위한 해외 수입수소 정책과 연료전지 위주의 전략 로드맵으로 요약될 수 있음
  · 미국 : 비록 중앙정부는 정책적 축소를 계획하나, 캘리포니아 위주의 수소 교통은 점차 확대 계획. `40년 이후 내연기관 차량 판매 금지 추진
  · 유럽 : 신재생에너지와 수전해 기술 조합에 따른 그린 수소 위주의 생산 전략 추진과 장기적인 수소교통 및 발전 사업 추진으로 요약
  · 중국 : 수소 교통위주로 전략을 추진
- (국내) 수소자동차 및 연료전지의 기술경쟁력 확보에 따른 전략 추진
  · 유사한 환경적 요인에 따른 일본의 전략을 벤치마킹하여, 국내 생산과 해외 생산을 통한 대량 수소 공급 체계 구축

○ 수소 사회 구축을 위해 요구되는 수소 활용 분야 및 국내 기업 분석

- 유럽과 미국은 수소의 생산, 저장, 공급 등을 담당하는 기반기술 소유의 상위 기업이 존재하여 수소 사회 구축을 유도하고 있음
  · 에어 프로덕트사, 린데사, 에어 리퀴드사, Praxair, 넬 사 등 메이저 업체가 미국과 유럽의 시장을 선도
  · 특히 에어 프로덕트, 린데 등은 국내에도 진출한 기업임
- 국내 유통의 메이저인 덕양을 제외하면, 실질적인 기반기술 소유 그룹은 전무하며 이엠솔루션, 제이엔케이히터가 기술 상용화를 추진 중임

- 세계적인 경쟁력확보 기업으로는 포스코에너지, 두산퓨어셀, 현대자동차 등이 있으며 모두 응용시장 분야로 분류됨

□ 시사점

○ 실질적인 시장 규모

- 현재 수소 자동차 시장을 선도하고 있는 미국 캘리포니아 `18년 수소자동차 판매가 2,368 대, 충전소 현황이 39개로 자동차 시장에 비해 미비한 수준임

*** 약 95,000내 내외의 전기차 보급에 비해서도 미비함**

- 일본의 가정용 연료전지 보급을 제외한 전세계 연료전지 시장은 극히 미비
- 국내와 미국을 제외하면, 발전용 연료전지 시장도 미비
- 이는 아직까지 국가 차원의 자생력을 갖추지 못한 것으로 분석될 수 있음

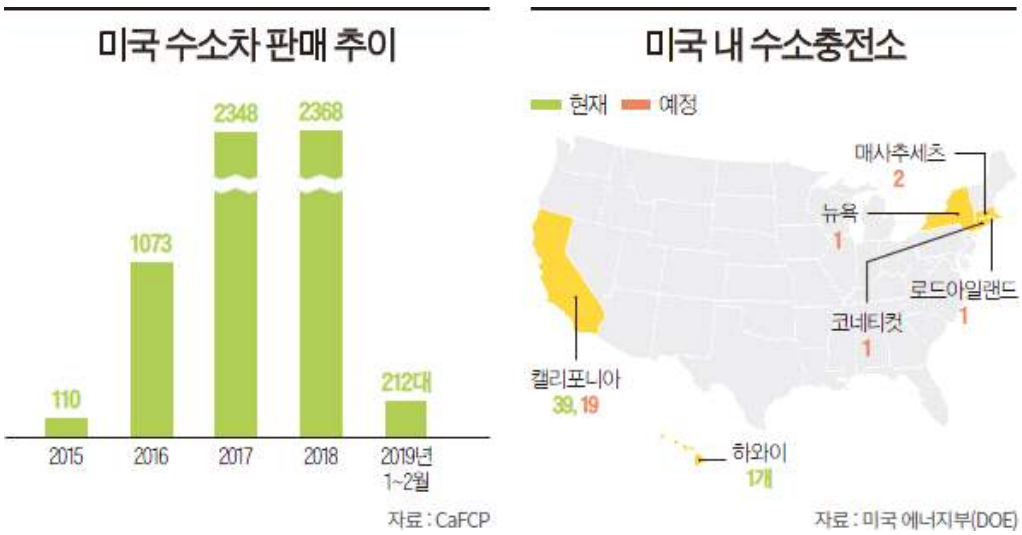


그림 2.85. 미국 `19년 현재까지 수소자동차 판매 및 충전소 구축 현황

- 국내외를 포함하여 수소 시장 산업 주도는 기존 수소원료 산업에서 수소 생산과 공급을 담당했던 소수의 기업 위주로 구성되어 있어 기반 기술 소유 기업이 소수임
- 국내 기반 기술에 관한 경쟁력은 시장 미흡으로 인하여 세계적인 수준에 미치지 못하며, 이제 기술개발 단계로 시장 성립요건이 되지 못함

- 수소 사회 구축을 위한 핵심 응용분야, 수소자동차, 연료전지 등에 대한 기술력은 세계적인 수준이나, 국내 시장 미비로 인하여 일본, 미국, 독일 등의 추월위기에 있는 것으로 평가
- 따라서 아직 산업계 위주의 시장 창출 시기는 이른 것으로 사료되며, 민·관의 협조가 필요한 시장 창출단계로 분석됨
- 전반적인 현 상황 상 시장 창출을 위한 계기로서 정부의 정책적 방향성이 강력하게 뒷받침되어야 할 것으로 판단됨

○ 시장 구축을 위한 방향성

- 국내 수소 시장은 부생수소 위주로 구성되어 있으며, 실질적인 활용가능한 양은 약 8700 톤/년 내외로 분석됨
- 국가 수소경제 활성화 로드맵상 시장 활성화를 위해서는 수소 생산 로드맵 구축이 반드시 필요하며, 현재 가능한 것은 천연가스 추출에 의한 수소 공급이 가장 유력한 수단으로 사료됨

*** 수소경제 활성화 로드맵에도 언급**

- 국내 환경상, 궁극적인 수소 생산 수단으로서 신재생에너지와 수전해 결합을 통한 P2G 형태는 수소 생산량의 일부를 목표로 추진
- 수소 시장 활성화를 위해서는 공급체계 - 이송체계 확립이 중요하나, 현재는 튜브트레일러를 활용한 소규모로 200 km내외의 유통시장이 성립되어 대용량 이송을 위한 유통체계 구축이 중요함
- 비록, 연료전지와 수소 자동차 분야에서 세계적인 경쟁력을 확보하고 있으나, 미국, 일본 등과의 경쟁체계 구축에 따른 시장 확보 시기를 실기할 수 있으므로 내수시장 확보가 시급한 상황임
- 이를 위해 초기단계에서 정부의 강력한 의지와 산업계의 기술력 확보 노력이 융합되어야 하며, 이를 위한 정책 - 보조금 지급, 세금 감면 등의 정책 추진이 필요함

제 3절 국내·외 정책 동향

1. 국외 정책 동향

□ 수소 정책 동향 개요

○ 파리 기후협약에 따른 CO_2 저감을 위한 정책적 방향성을 신재생에너지 도입으로 해결

- IRENA에서는 파리 기후협약에 따른 목표 달성을 위해 `50년까지 전력의 95%가 저탄소 에너지, 신규자동차의 70% 이상 전기자동차로 공급되야함을 강조,
  *** 실제 이를 위한 신재생에너지와 에너지 효율개선의 방향성 제시와 기여도 90%이상을 전망**
- 신재생에너지 변동성에 대한 댕응 수단으로서 수소의 역할 (Carrier와 Storage)이 부각되었으며, 이에 선진국은 장기 로드맵으로서 수소의 정책적 방향성을 제시하였으며, 수소 경제에 대한 중요성을 인식함
- 수소경제를 에너지 시스템 변화로서 인식하고 있으며, 신기후체제의 저탄소에너지 지향점에 있어 재생에너지-수소를 결합하는 방향 중시
- 수소경제에 있어 대표적으로 수준의 차이는 있으나 1차적으로 자동차 배출 규제 강화에 따른 수소 자동차 도입에 대한 정책이 가장 활발

○ 주요 국가의 관련 정책 비교

- (일본) 4차 및 5차 에너지 기본계획을 통해서 정책의 방향성을 설정함. 에너지 기본계획은 수소에 대한 정책이라기 보다는 전체 에너지 수급계획을 큰 틀에서 정리한 것임
  · 5차 기본 계획은 `15년 파리협약의 내용을 추가하여 명시하고, 수소사회 실현에 대한 내용을 에너지 정책 중의 하나의 방향성으로 명시함으로써 수소 전주기 계획에 대한 타당성을 확보
  · 수소사회에 대한 구현 전략으로서 “수소기본전략”을 발표하여 구체화함.
  · 실행계획은 수소연료전지전략협의회 등에서 기술개발에 대한 구체적 로드맵을 작성하여 발표함으로써 민과 관이 명확하게 역할 분담을 함
- (미국) 전체 정책 방향성이 수소연료전지차 보급에 맞추어져 있음

· `02년 수소차 보급 정책 제시 이후 경제성 및 기술적 한계등 다양한 이유로 `09년이후 미국 전체를 대상으로 하는 수소경제에서 캘리포니아를 대상으로 하는 수소차 보급 등의 방향으로 전환
· 대표적인 법으로 National Energy Policy를 발표하여 에너지와 환경문제를 집중
· Hydrogen Fuel Initiative를 통해 정책 주도

*** 수소연료전지 관련 R&D에 5년 12억 $ 지원을 주요 골자로 함**

· `06년 Hydrogen Posture Plan을 통해 구체적 계획 제시
· 이후 2013년 9월 29일 ABB(Assembly Bill 8)법안을 통한 충전소 건설 지원 안정성 확보를 통해 본격적인 캘리포니아를 통한 수소 교통 보급 계획 시작
· `13년 미국 DOE (에너지부)는 도요타, 닛산, 벤츠 등과 파트너십을 맺고 H2USA를 결성을 통해 수소자동차 보급 정책 확대함
· 기술적 방향성 제시는 DOE를 통해서 발표가 되며, 여기에 전반적인 경제성 등을 분석하여 정리함

– (유럽) 유럽내 수소 정책은 초기 독일, 영국, 프랑스 등에 의해 주도되었으나, 네덜란드, 노르웨이, 덴마크, 터키 등이 계획에 합류하여 각각의 기술 개발 로드맵을 발표함. `19년 EU 기술 로드맵이 발표되어 실질적인 방향성을 주도

· 유럽 연합은 다국가 연합체로 해당 국가 별로 실질적인 개별 로드맵을 추구하고 있으나, `08년 Set-Plan을 통해서 가이드를 제시함. 이 보고서는 유럽 에너지 시스템을 저탄소 경제로 전환하도록 제안
· (목표) `20년까지 온실가스 배출량 20% 감축, `50년까지 60~80% 감축
· (내용) 재생에너지 보급, 에너지효율 증가, 스마트 그리드 및 전기자동차 확대, CCS 기술적용 등을 골자로 하며, 실질적인 수소에 대한 것은 연료전지 분야에 일부가 적용
· FCH JU 중심으로 수소연료전지 확대를 위한 전략 로드맵 발료와 이를 통한 유럽 전역의 수소경제 도입을 선도
· (독일) 2010년 발표된 High-Tech strategy 2020내 수송 부야에서 수소 및 연료전지 분야에 대하여 정책적으로 명시하고 예산 투입. 현재 유럽의 수소경제를 이끌고 있으며, 현재는 National Innovation Program (NIP)으로 2단계로 확대하여 수소 연료전지 보급에 주력.

*** 세계 최초로 연료전지 철도를 도입 이후 영국, 프랑스까지 파급**

*** 독일 H2Mobility 파트너쉽 결정 : 민간 협의체로서 수소 전략 선도**

· (영국) 정책 방향성이 보조금과 세금 부과에 대해 집중되어 ZEV외 보유세 조치와 친환경차에 대한 보조금 정책을 추진

*** UK H2Mobility 결정에 따른 수소 교통전략 추진과 수소 철도 도입 결성**

· (프랑스) 수소가 메인으로 정책을 구성하지 않고 에너지 정책의 한 축으로서 담당하고 있음.

*** UK H2Mobility 결정에 따른 수소 교통전략 추진과 수소 철도 도입 결성**

표 2.22. 세계 주요국의 정책 비교

	일본	미국	유럽
대표 정책	◦4/5차 에너지 기본계획 ◦수소기본전략 ◦1/2차 수소·연료전지 전략	◦National Vision of America`s Transition to a Hydrogne Econolmy ◦Hydrogen Posture Plan ◦Hydrogen Fuel Initiative ◦ARRA	유럽: Set-Plan, Hydrogen Roadmap Europe 독일: High-Tech strategy2020 영국: UK H2 Mobility, 프랑스: H2 Mobility France
배경	◦신재생에너지 도입과 이에 대한 보완 수단으로서 수소에너지 도입 ◦도쿄올림픽을 통한 기술 선도	◦장기 에너지문제 해결방안 ◦이라크 전쟁에 따른 화석연료 탈피 방안 ◦천연가스 활용방안 모색	◦파리 협약에 따른 CO2 감축 ◦신재생에너지 산업 성숙에 따른 전력 활용방안 모색
생산	◦부생수소와 갈탄 전환 ◦CCS 결합 수소생산 ◦신재생에너지 전환 ◦해외의 수소 대량 수입	◦천연가스 개질 방식 확산 ◦대규모 풍력단지 중심생산 ◦부생 수소 활용	◦클린 수소 (CCS결합) 및 그린 수소를 생산하는 방향에 초점
운송	◦튜브 트레일러 활용 ◦수소 파이프라인 ◦액화/액상 수소 운송	◦천연가스 활용 ◦튜브 트레일러 활용 ◦수소 파이프라인	◦튜브트레일러 ◦파이프라인 활용
저장	◦대용량 저장소 구축 ◦궁극적으로 액화/액상 기술	◦전 방위적 기술개발을 통한 적절한 저장 방식 선택 ◦액화, 가스압축 등 활용	◦대용량 지하저장소 구축
정책 특징	◦ 수소수입을 통한 구현방안 ◦ 수소 전분야 확대 ◦ 재생에너지 확대 발전량 기준 24%까지 확대	◦미국전역→캘리포니아 주→미국전역 ◦현재 수소 교통에 집중	◦신재생에너지 전환 ◦가스그리드 활용방안 모색 ◦수소교통에 집중

□ 일본

○ 4차 및 5차 에너지 기본 계획

- 5차 에너지 기본계획은 4차의 목표를 그대로 승계하여 새로운 목표 제시 보다는 정책목표 실현에 중점

*** 파리협정에 따른 탈탄소 및 온실가스 저감 명시**

- **(핵심 목표)** 신재생에너지 발전량 대비 22-24%, 천연가스 27% 등의 저탄소에너지에 의한 발전 비율 확대임

- (핵심 기술 및 해결과제) 4차 에너지 기본 계획에서 총 7개의 핵심 기술 선정 중에서 "수소에 관한 기술의 세분화"를 명시하여 수소 기술 로드맵을 제시하였으며 5차 에너지 기본 계획에서 열 및 수송 시스템에서 수소 에너지원 확대, 화력 발전에서 석탄의 수소 전환 등을 명시

*** `17년 12월 수소 기본전략 수립에 따른 수소 사회 실현에 대한 전략을 명시함**

- (수소 사회 실현) 수소의 조달, 공급 비용을 기존 에너지와 유사한 수준으로 저감하고 교통 수단에 적용을 가속화하고, 국제적인 공급망 구축과 수소 대량 소비를 위한 발전도입을 명시하여 최초의 수소 사회 구현을 명시하였음
  · (연료전지) 가정용을 중점으로 `30년까지 530만대 도입 목표와 발전용 연료전지 효율을 60%로 기술 개발
  · (수소 교통) `25년 320개소의 수소 스테이션, 20만대 수소 자동차 도입. 20년대 후반까지 수소스테이션 사업의 자립화와 `30년까지 수소 자동차 80만대 도입을 목표로 추진. 연료전지 버스 1,200대, 연료전지 지게차 1만대 보급
  · (수소 공급망 및 수소 발전) 해외로부터 저렴한 수소의 대량 조달을 명시함. 이를 위해 액화수소 및 액상 수소로서의 에너지 저장방식의 개발을 추진. 수소 발전은 단독 발전이 아닌 천연가스 화력과의 혼합 발전을 추진하기 위한 실증
    *** `30년 이전 갈탄을 활용한 해외 수소 생산 수송 기술 개발과 이후 국제 공급망 구축**
    *** `30년 수소 수입량 및 단가 : 30만 ton/d와 30엔/Nm3 (320원/Nm3, 3,584원/kg)**
  · (P2G 기술) 전기 분해 기술을 `20년까지 50,000엔/kW를 목표로 기술 개발하고 `30년까지 상용화를 추진. 별도로 부생수소, 하수슬러지 등을 수소 전환하는 기술 개발하는 등의 지역수소 사회 실현 추진
  · (도쿄 올림픽과 글로벌 협력) 도쿄올림픽을 통한 기술력과시와 IPHE, IRENA등의 협력체계 구축을 명시

	에너지믹스 (1차에너지 기준, %)				전원믹스 (발전량 기준, %)			
	2013 (기준)	2016 (실적)	2030 (목표)	△%p* ('13/'30)	2013 (기준)	2016 (실적)	2030 (목표)	△%p* ('13/'30)
· 석유	45.5	43.1	30.0	-15.5	14.5	9.3	3.0	-11.5
· 석탄	24.1	24.1	25.0	0.9	32.9	32.3	26.0	-6.9
· 천연가스	22.1	22.4	18.0	-4.1	40.8	42.2	27.0	-13.8
· 재생에너지	4.9	6.6	13~14	8.1~9.1	10.8	14.6	22~24	11.2~13.2
- 수력	3.1	3.1		-	7.3	7.6	8.8~9.2	1.5~1.9
- 태양광				-	1.2	4.4	7.0	5.8
- 풍력				-	0.5	0.6	1.7	1.2
- 바이오매스				-	1.6	1.8	3.7~4.6	2.1~3.0
- 지열				-	0.2	0.2	1.0~1.1	0.8~0.9
· 원자력	0.4	0.7	10~11	9.6~10.6	0.9	1.7	20~22	19.1~21.1
· LPG			3.0	-	-	-	-	-
· 에너지자급률	6.1	8.3	24.3	18.2				

그림 2.86. `30년 기준 일본 4/5차 에너지 기본계획 에너지 믹스 개선 목표

○ 4차 및 5차 에너지 기본 계획을 토대로 다양한 기술적 목표를 제시

- 기본적인 수소 사회 구현에 대한 정책 방향성은 에너지 기본계획을 토대로 제시하고 있으며, 기술개발에 대한 방향성은 “수소기본전략”과 “수소·연료전지 로드맵”을 통해서 구체화 하는 이원화 전략을 제시

○ 2050 수소기본전략 수립

- 4차 에너지 기본계획을 중심으로 전략 핵심 방향인 에너지 확보 (Energy Security), 경제성을 위한 효율성 (Economic Efficiency), 친환경 (Environment), 안전 (Safety) (3E+S)하에서 수소를 에너지로서 분석

- `50년 기준 에너지 정책 구상 및 비전 설계차원에서 수소 사회 실현 전략 수립하고 총 3단계로 구분하여 단계별 목표와 중점과제 선정. 표 20은 이를 요약한 것임

- 총 7개의 기술개발을 명시하고 있으며, 이는 5차 에너지 기본계획의 수소사회 실현 내용으로 확대

표 2.23. 일본 수소기본전략의 단계별 추진내용 (세계에너지 시장 인사이트 제 18-44호)

	내 용
1 단계 (~ 현재)	- 수소 활용의 확대 시기 - 연료전지 및 수소 자동차 확대를 통한 연료전지 분야 선도
2 단계 (~ 2020년대 후반)	- 수소 대규모 공급시스템 확립 - 수소 에너지 공급체계내 해외 수입수소 확대
3 단계 (~ 2040년)	- 그린 수소 공급시스템 확립 - CCS 결합 수소와 재생에너지원 활용 CO_2 Free 수소 공급

□ 미국

○ 미국 연료전지 관련 중앙정부 정책은 표 2.24에 있는 것처럼 1976년 하이브리드 차량 보급과 수소 프로그램 승인에서 시작되어, `07년 EISA를 통한 청정에너지 생산을 통한 에너지 안보 확보에 근거로 정리되었으며, 이후 지방정부에 의한 법 (특히 캘리포니아)에 의해 진행

- `07년 이후 수소 관련 정책진행은 민관 협력기관과 DOE와의 협력사업의 일환으로 지속적으로 추진됨

○ 부시 대통령에 의한 수소 정책 드라이브가 오바마 정부의 태양광과 풍력으로 변화됨에 따라서 `11년 이후 예산이 삭감

○ 트럼프 정권에서 이러한 수소 정책은 더 악화되었으나, 천연가스 개발에 따른 부수적 효과가 있을 것으로 전망함

○ Hydrogen Posture Plan (HPP)

- `04과 `06년 2차례에 걸쳐 공개된 수소기술 연구개발 계획 보고서로 에너지부와 교통부 주도의 수소연료사업 관련 내용을 효과적으로 관리하기 위해 수립
- EERE, 화석연료국, 과학국, 교통부에 의해 제시된, 수소기반 에너지 시스템 구축과 지원 활동에 대한 계획 및 내용 명시된 것으로 이에 따라 초기 수소 기술 개발이 주도됨
- 총 4단계에 걸친 수소 기술 개발과 시장 창출에 대한 시나리오를 명시
  · (1 단계) 기술 개발에 대하 가격 경쟁력 확보와 기술체계 정립
  · (2 단계) 초기 에너지 시장 진입
  · (3 단계) 시장과 인프라 구축의 확장
  · (4 단계) 완전한 시장 창출 및 인프라 구축

표 2.24. 미국 수소·연료전지 관련 주요 정책
(오&이, 녹색기술 이슈분석 리포트, 수소경제사회 실현을 위한 미국의 수소정책분석 및 시사점, 2018)

연도	정책이름	내 용
1976	Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, and Demonstraion Act of 1976	하이드리드 차량 개발 및 수소 프로그램 승인
1990	Matsunaga Hydrogen Research, Development, and Demonstraion Act of 1976	수소 R&D 5개년 계획 수립
1992	Energy Policy Act	에너지부 주도 연료전지 및 교통에 대해 주도적으로 프로그램 실시
1996	Hydrogen Future Act	수소프로그램 관련 세부사항 구체화
2001	National Energy Policy	에너지부에서 수소에너지 포함 차세대 에너지 개발을 규정
2005	Energy Policy Act	Title 8에 수소에너지에 관한 부분으로 수소 및 연료전지 프로그램 관련 사항, 목적 등을 포함 이외 신재생에너지 등에 대한 내용을 포함
2007	energy Independence and Security Act	에너지 해외 의존도 감소와 신재생에너지 생산 증가 및 교통 효율성 향상에 대해 규정

○ Hydrogen Fuel Initiative (HFI, 2008버전)

- 최초로 수소의 생산, 저장, 연료전지 등에 대한 기술개발 목표를 명시한 것으로 부시 대통령의 `02년 정책방향 제시 이후 `03년에 제시 되었으며, 이에 대한 실행계획으로 HPP가 발의
- 그림 2.87는 HFI에서 제시된 각 기술과 `10, `15년까지 수소 저장, 생산 등에 대한 가격 목표와 내구성 등을 명시한 것임
- 구체적으로는 그림 2.87의 목표 달성을 달성하기 위한 에너지 국과 교통 국(Department of Transportation)에서 활용될 예산 등을 명시
- HFI를 시작으로 DOE는 수소 전주기에 대한 기술개발 로드맵을 `13년, `17년 발표하여 세계 기술 로드맵을 주도적으로 이끌고 있는 것으로 평가됨

○ 캘리포니아 Assembly Bill 8 법안

- 충전소 건설 지원을 위해 제정된 법으로 `23년까지 매년 2,000만 $, 10년 총 2억$ 지원을 명시하였으며, `18년 평가 보고서에 의하면 지속적으로 수소 충전소 건설이 확대될 전망

  *** 이에 따라 현재 캘리포니아내 약 100개의 충전소가 건설될 예정**
- ARB (막 Resource Board)에서 캘리포니아 수소연료전지 차 시장의 현재 규모 및 미래 전망치 발표하도록 규정

○ Self Generation Incentive Program (SGIP)

- 분산형 전원 활성화를 위해 지원되는 보조금 제도로 저장 용량별, 그리고 신재생에너지 방식별 보조금 단가를 책정함. 보조금은 초기 중기 장기로 구분되며, 점차 규모가 감소함. 그림 2.88은 이를 요약한 것임
- Fuel Cell 발전은 초기 보조금 단가를 0.6 $/W 이며, 바이오 가스를 활용할 경우 1.2 $/W로 증가함. 장기적으로는 0.4와 1.0 $/W으로 점차 감소함

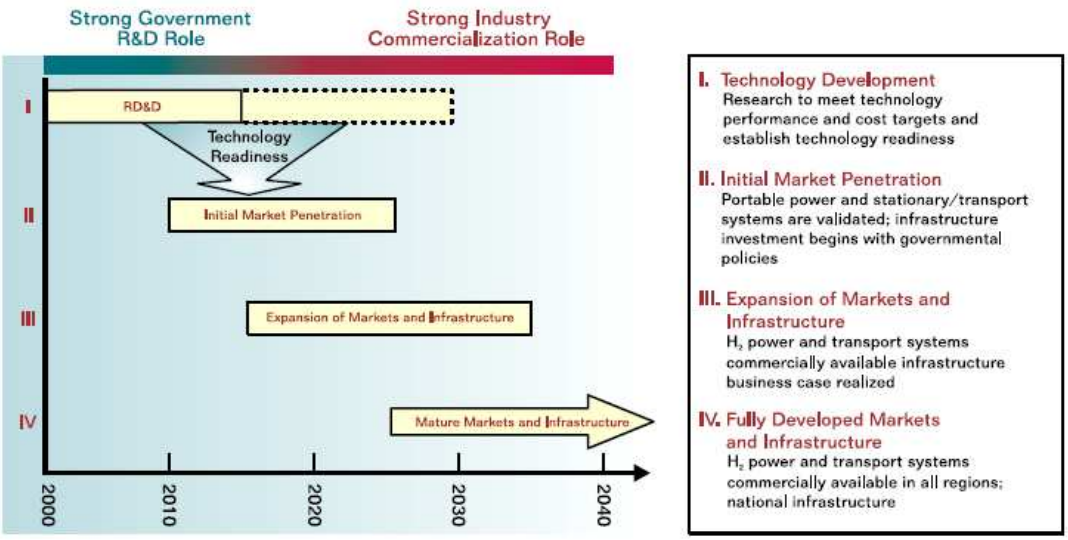


그림 2.87. 미국 HPP 내 전체 전략적 수소 사회 구현로드맵

(위 : Hydrogne Posture Plan, US DOE, 2006)

(아래 : 이택홍, 충남 신재생에너지 산업화 발전계획과 수소경제사회 구현 전략 수립 최종 보고서, 호서대)

Table 2: Status of Key Hydrogen Fuel Initiative Technologies and Target Dates

Technology	Target area	Status	Target (2010)	Target (2015)
Fuel cell	Cost[a]	$107/kW	$45/kW	$30/kW
	Durability	2,000 hours	5,000 hours (80°C)	5,000 hours (80°C)
Storage	System gravimetric capacity (net)[b]	2.3 wt%	6 wt%	9 wt%
	System volumetric capacity (net)[c]	0.8 kWh/L	1.5 kWh/L	2.7 kWh/L
	Cost[d]	$15-$18/kW	$4/kW	$2/kW
Production	Cost, distributed natural gas[e]	$3.00/gge	$2.00-$3.00/gge	$2.00-$3.00/gge
	Cost, distributed bio-derived renewable liquids	$4.40/gge	$3.80/gge (2012 target)	<$3.00/gge (2017 target)
	Cost, distributed water electrolysis	$4.80/gge	$3.80/gge (2012 target)	<$3.00/gge (2017 target)
	Cost, central wind-water electrolysis	$5.90/gge	$3.10/gge (2012 target)	<$2.00/gge (2017 target)
Technology validation (demonstrated in vehicles)	Driving range	200 miles	250 miles (2008 target)	300 miles
	Efficiency	53-58 percent	(see 2015)	60 percent
	Durability	1,600 hours	2,000 hours (2009 target)	5,000 hours

그림 2.88. 미국 HFI 전략적 기술 목표 (Hydrogne Fuel Initiative, GAO, 2008)

	Step 1		Step 2		Step 3	
Technology Type	Initial Incentive Rate	Max Incentive w/ biogas adder	Initial Incentive Rate	Max Incentive w/ biogas adder	Initial Incentive Rate	Max Incentive w/ biogas adder
Generation Technologies	$/W	$/W	$/W	$/W	$/W	$/W
Wind	$0.90	n/a	$0.80	n/a	$0.70	n/a
Waste Heat to Power	$0.60	n/a	$0.50	n/a	$0.40	n/a
Pressure Reduction Turbine[15]	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Internal Combustion Engine CHP	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Microturbine CHP	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Gas Turbine CHP	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Steam Turbine - CHP[16]	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Fuel Cell CHP	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00
Fuel Cell Electric Only	$0.60	$1.20	$0.50	$1.10	$0.40	$1.00

그림 2.89. 미국 SGIP 제도 (Self-Generation Incentive Program Handbook 2017)

○ 다양한 민관 합동에 의한 정책 방향성

- 현재 대표적인 정책 방향성으로 민관 합동 기관으로서 캘리포니아 연료전지 파트너 쉽 (California Fuel Cell Partnership, CaFCP)과 U.S. Drive (Driving Research and Innovation for Vehicle efficiency and Energy substantiality) 등이 캘리포니아의 수소 교통을 이끌고 있음

- (CaFCP) 1999년 설립된 단체로 18년 기준 43개의 미간기업과 정부단체가 소속되어 실질적인 캘리포니아 지역의 수소자동차 인프라 구축 전략을 주도. H2USA와는 다르게 캘리포니아 지역에만 수소사회 구축에 대해 주도적 역할을 함
  · (기술적 목표) 250 mile이상 주행, 연료주입시간 3-5분내외
  · 실질적인 수소 교통과 관련된 전분야, 수소자동차, 수소버스, 트럭, 수소충전소 등의 모든 개발과 시장 활성화 전략을 주도
  · A California Road Map (the Commercialization of Hydrogen Fuel Cell Vehiceles, 2014), The California Fuel Cell Revolution (2018) 등을 발간하여 실질적인 수소 교통 보급을 주도하고 있으며, H2USA와 함께 미국 전역에 대한 수소 경제 추축에 주도적 역할을 하였음
  · 수소 자동차 5,000 $ 보조금 지급 충전소 보조금 등을 통해 `19년 현재 수소차 6,547대, 수소버스 30대, 충전소 65개소를 구축함
    *** 일본은 3,026대 수소차, 18대의 수소 버스가 운행**
  · 현재는 수소 트럭, 수소 버스 등의 로드맵을 구축하고 기술개발을 주도
- (H2USA) DOE 주도로 `13년 구성된 연방정부 차원의 민관 파트너 쉽으로 수소자동차 제조업체 주도의 이해관계 기관이 참여
  · 정부기관, 자동차 사, 가스회사, 연료전지 사 등 수소와 관련된 민·관 기관의 모임
  · (목적) 교통분야에 수소자동차를 도입함으로써 화석연료 사용을 감소시키기 위해서 모인 단체로 약 30여개 기관 중 한국의 현대자동차가 속해있음
  · 미국, 독일, 일본, 영국 등과의 공공, 민간 협력 플랫폼을 구축하여 상호 협력관계 구축
  · National Hydrogen Scenarios 등을 통해 수소스테이션 설치에 대한 가이드 등을 제시하고, 미국 전체에 대해 수소 자동차 파급을 위한 전략 제시
  · `18년 미국의 9개의 주 Connecticut, Maine, Massachusetts, New Hampshire, New York 등을 대상으로 다양한 수소연료전지 차량 보급 전략 등을 수립하고, 캘리포니아 주를 대상으로 수소버스 도입 방안등을 수립하여 수소 경제 구축을 제시함.
  · 특히 캘리포니아 연료전치 파트너 쉽과의 제휴를 통해 캘리포니아의 전략을 토대로 미전역 확산전략을 구축

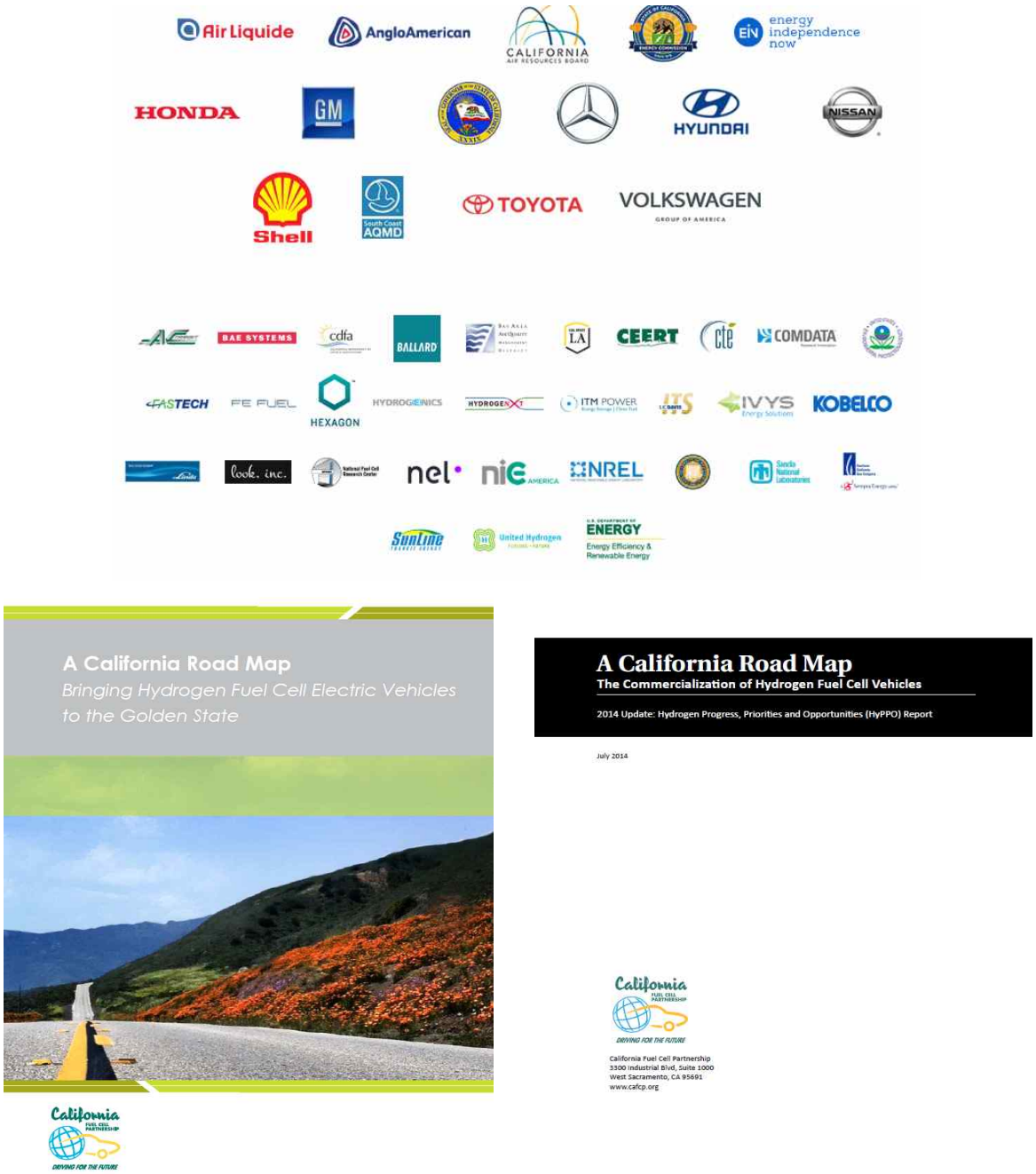


그림 2.90. 미국 CaFCP에 모인 기관 및 대표적 전략 로드맵 (cafcp.org)

그림 2.91. 미국 H2USA에 모인 기관 및 대표적 전략 로드맵(www.h2usa.org)

□ 유럽

○ 유럽 내 다양한 국가가 국가별 수소경제 로드맵을 개발하여 시행하나, 실질적으로 대부분은 유럽의 신재생에너지 정책의 부분으로서 적용

- Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)가 민관 협의체로서 전체 전략을 주도적으로 이끌고 있음
- 독일, 영국, 프랑스 등은 H2 Mobility를 결정하고 FCH JU와의 협력을 통해 자국의 수소 교통 경제도입의 로드맵을 구축하고 있음

○ Strategic Energy Tehcnology Plan (SET-Plan)이 최초로 향후 10년동안 핵심 도전기술로서 수소연료전지 기술의 상업화를 언급

○ `16년 Sustainable Energy Security Package에서 수소 연료전지에 대한 상업화 가능성을 언급하며, 신재생에너지를 강조함

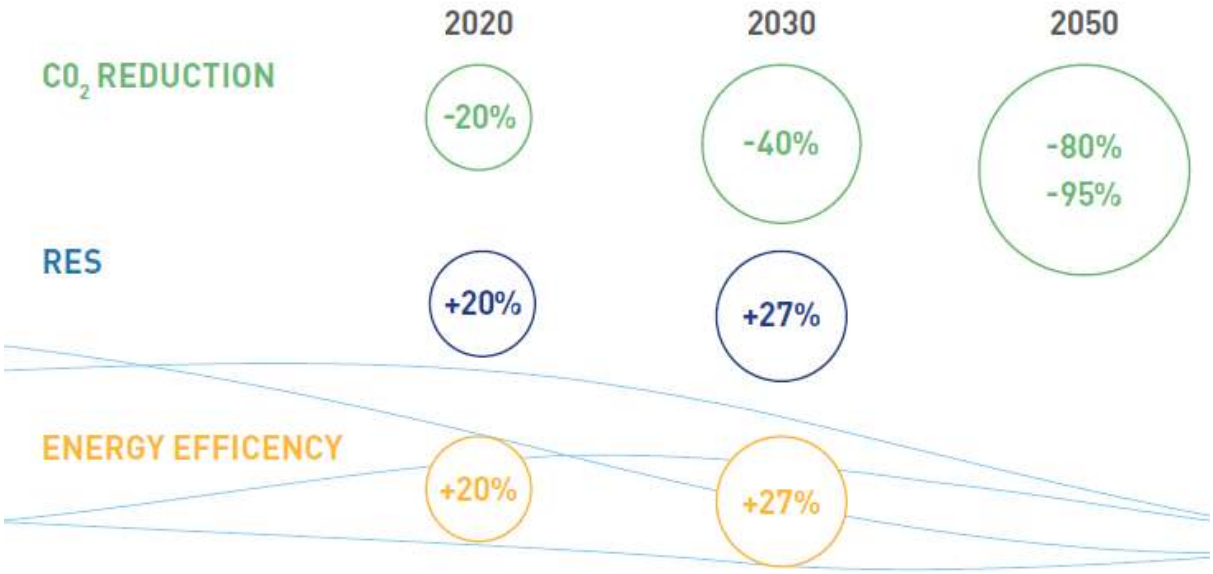


그림 2.92. 유럽의 전략적 이산화탄소 등의 저감 목표
(Fuel Cell and Hydrogen Technology: Europe`s Journey to a Greener World, FCHJU, 2017)

○ Hydrogen Energy and Fuel Cells : A vision of our future

- `03년 European Commission을 통해서 CO_2 감축의 수단으로서 수소 에너지 및 연료전지에 대한 개발 로드맵을 수립하고 총 3단계에 걸쳐 기술개발 내용을 제시
- `50년 수소 경제 추진을 위한 비전으로서 로드맵을 제시하여 향후 방향성을 도출함

*** 향후 FCH JU 주도의 `19년 로드맵의 모태로 작용함**

○ FCH JU

- 민관 협의체로서 회원사는 총 3개의 그룹, 연료전지, 수소 산업, 연구그룹 으로 구성되어, 유럽내의 연구, 개발, 실증을 모두 담당하는 연합체로서 구성
- (목적) `50년까지 전탄소 경제로의 전환
- (이슈) 에너지 생산으로서 큰 카테고리를 3개로 구분하고 운송분야 관련 프로젝트를 발주하여 수소 교통 체계도입 (해상, 육상, 항공을 모두 포함)

· 연료전진 시스템의 생산원가 절감과 내구성 향상, 전기효율 향상
· 물의 전기분해 및 신재생에너지 전환 효율 증가 및 운영/자본비용 절감
· P2G 기술의 대규모 실증

표 2.25. Hydrogen Energy and Fuel Cells : A vision of our future 내용

단계	내 용
1 단계 (~ 2010)	– 신재생에너지 전환 기술과 전력 그리드 통함 – 화석연료 효율성 강화 – 천연가스 및 바이로 매스로부터 생산된 합성 연료 사용 증가 – 수소 연료전지 시장 초기 창출 – 수소 연료전지 엔진 개발
2 단계 (~ 2020)	– 바이오 연료 활용을 지속적으로 증가 – 추출수소 기반 연료전지에 CCS 결합 – 신재생에너지 활용 수소생산과 바이오 매스 추출 수소 생산 구현
3 단계 (2010 ~)	– 에너지 캐리어로서 수소와 전력 활용 – 수소 공급 네트워크 확장

– 다양한 전략 로드맵을 구축하여 유럽 전체를 가이드함. 주 목표년도는 `50년 수소 경제 활성화이며, `19년 기술 및 수소 에너지 로드맵을 제안함

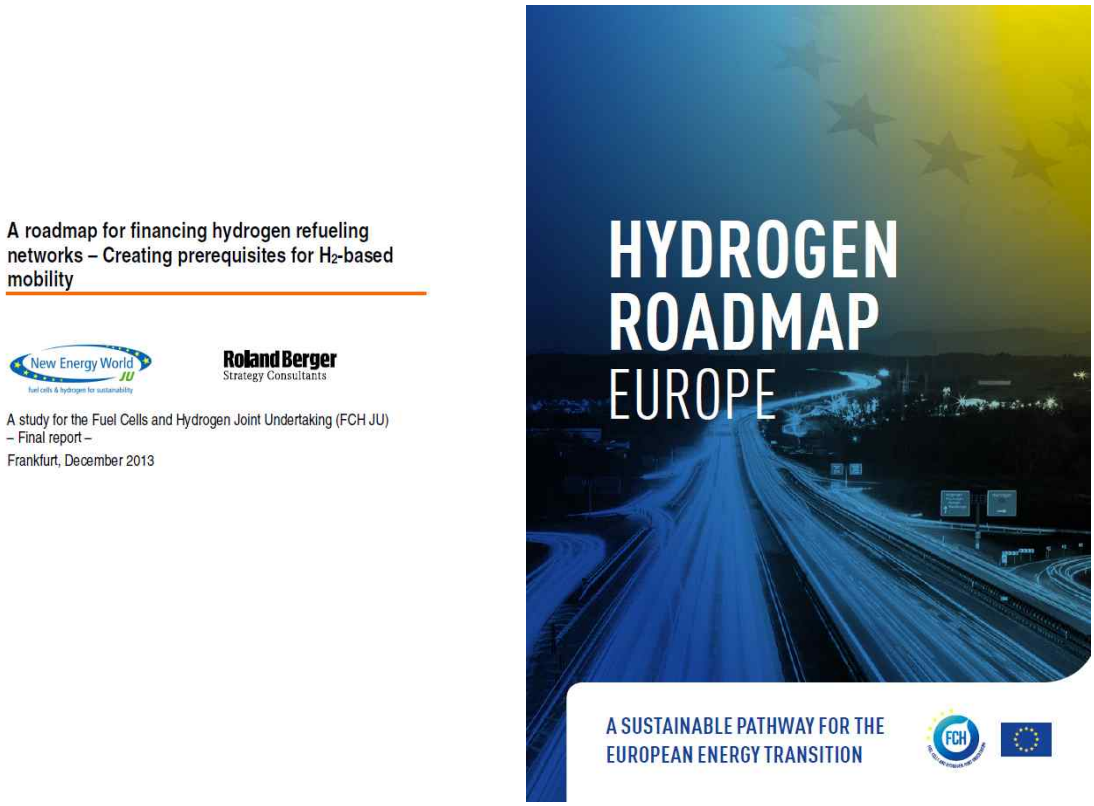


그림 2.93. 유럽 FCH JU의 대표적 전략 로드맵 (www.fch.europa.eu)

□ 국외 수소 정책 시사점

○ 수소 경제 도입에 대한 선진국의 정책적 방향성은 대부분 수소 자동차와 수소 스테이션 도입에 맞추어져 있음

– (이유) CO_2 저감을 위한 신재생에너지의 carrier로서 도입방향성 결정에 따른 활용 방안 중 가장 손쉬운 접근성을 갖고, 명확한 CO_2 저감이 발생할 수 있는 분야이며, 연료전지 기술 발전에 따라 응용분야로서 적합하기 때문으로 판단

– 미국과, 유럽, 일본 등에서 성공적으로 수소충전소와 수소자동차를 도입하고 있으나, 아직까지 경제성 부족으로 인한 보조금 정책이 활발하게 진행

· 일본 : `16년 기준 수소충전소 보조금 3,600억원, 1개소당 25억 지원
수소자동차 구입시 취득세 면제, 약 300만엔 지원, 자동차 중량세 면제, 자동차세 75% 감면

· 영국 : `16년 기준 친환경차 보유세 감면, 3,500 파운드, 주차 및 정체요금 면제

· 독일 : 회사차의 경우 세금의 절반 감면, 개인차량 자동차세 면세, 초기 15,000 € 지원

· 미국 : 5,000 $ 초기 구입비 지원, 세액 공제 확대, 주마다 조금씩 다르지만, 일반적으로 세금 면제 혹은 감면이 주를 이루나 실제 캘리포니아에서 주로 시행

– 시장 창출을 위해 모든 선진국에서 인센티브 제도를 활성화하여 생산자와 소비자의 유인책을 마련하고 있으며, 실질적으로 세금 감면과 자동차 구입 보조금 등이 메인이 됨. 표 2.26은 각 국가별 보조금 내역을 비교한 것임

표 2.26. 각 국가별 수소차 육성을 위한 보조금 내역 (수소연료전지차 (FCEV) 관련 국내외 동향 및 정책제안, 대한석유협회, 2018 및 수소에너지 연관 산업시장 분석, 수소얼라이언스, 2018, 참고)

	미국	일본	중국	유럽	한국
구매	8,000+5,000 $ (15,540천원)	206만 ¥ (22,460천원)	20만 위안 (34,000 천원)	12,000€ (16,020 천원)	27,500 천원
충전소	2,000 $ (운영비 3년 지원 70-90%)	설치비 50% (운영보조금 22,000 ¥)	설치비 60%	독일기준 운영비 : 50% 설치비 : 50%	설치비 50%
세금	대당 7,500 $	취득세, 자동차세 면제	–	–	720만원

○ 전반적으로 선진국의 정책 방향성은 민·관의 협의체에 의해 주도적으로 협의되고 있으며, 협의체의 기술로드맵과 인프라 구축 로드맵에 의해 추진

- 정부 : 법제화를 통한 예산의 확보 및 예산 지원 프로그램, 인센티브 제도를 통한 시장 창출 전략 추진
- 협의체 : 투자 방향, 기술개발 로드맵, 인프라 구축 로드맵 등을 추진함으로써 시장 창출 및 확대 전략 추진

○ (미국) 이라크 전쟁 직후 에너지 안보와 탈 화석에너지에 대한 요구에 의해 정책이 시작되었으나, 성급한 접근에 의해 `09년 이후 예산적인 부분에서 정책적으로 후퇴하고 전기차 보급 정책으로 변화

- 캘리포니아 주를 통해 친환경 자동차 (BEV, FCEV) 등을 우선 보급하고, 시장 확대 정책으로 변화함. 현재 수소 교통에 대한 정책이 뉴욕 등 다양한 주로 확대되어 시행되고 있으나, 아직 인프라 확대가 미비함
- 캘리포니아 `18년 기준 전기차 보급 대수 94,813대 수소연료전지차 6,547대로 실제 전기차 시장의 7% 수준임
- 이는 인프라 부족에 의한 편리성과 전기차의 가격 경쟁력으로 인한 것으로 분석될 수 있음

  *** 실제 BEV 보조금 수준은 FCEV 절반수준으로 감면**

- 이러한 수치만 놓고 볼 경우 수소 경제를 포함한 수소교통은 기술적 뒷받침과 인프라 확충에 따라서 장기적인 계획으로 추진되어야 함
- 일부 수소 경제 시범을 통한 인프라 구축 및 기술 개발 이후 data 확보후 정책 확대전략을 벤치마킹하는 것도 좋은 전략임. 단 장기적인 전망으로 추진되어야 함
- 트럼프 행정부는 `17년 환경보호국에 표준 완화를 목표로 CO2 배출장 재검토 지시하였으나, 캘리포니아는 ZEV (Zero Emission Vehicles) 규정 강화를 통재 중앙 정부와는 반대되는 정책을 추진. 현재 9개 주가 캘리포니아 주의 표준을 채택
  - 캘리포니아 주는 `40년 기준으로 내연기관 판매 금지안을 제출할 만큼 친환경 차량 중심 정책이나, 실질적으로 미국 전체가 동의한 것은 아님
  - 캘리포니아 주에서 조차 수소 연료전지차량 판매는 전기차에 비해 미비한 수준이며, 수소자동차는 장기적인 전망으로 추진됨

○ (일본) 주택 등의 세계 1위의 소형 연료전지 기술을 바탕으로 주거와 수소 자동차 기술을 개발하고, 장기적인 정책 방향으로 수소 사회 구축전략 추진

- 도쿄 올림픽을 계기로 기술 홍보와 이를 위한 수소 경제에 대한 전략 로드맵을 구축함. 이미 `14년 4차 에너지기본계획에 대한 전략을 그대로 승계함으로써 장기적인 전략을 추진할 수 있는 바탕을 마련
- 목표 변경없이 현실에 맞는 실행 전략만을 변경함으로 인하여 시행착오 최소화
- 시장 진입을 위한 연료전지 모델로서 “에네팜”을 지속적으로 개발하고 적용함으로써 주민 수용성을 극대화한 것이 현재 가정용 연료전지 시장 1위의 배경
- 현 단계에서 수소 자동차 분야에서 기술력 1위임. 이는 연료전지 스택을 포함한 다양한 분야의 핵심 기술을 소유하고 있기 때문이며, 이러한 기술 확보를 위한 예산 증대가 필요함
- 초기 수소 생산에 대한 환경상 문제로 대형 수입을 위한 전략적 기틀을 마련하고 수소 사회 구축을 위한 인프라 구축 쪽으로 전략의 초점을 맞춤
  · 국내와 유사한 상황으로 대량공급을 위한 수소 확보를 부생수소를 제외한 나머지 등을 수입 수소로 대체
  · 단기적으로 추출가스 활용과 CCS기술 접목, 장기적으로 그린수소 수입의 전략
  · 수소의 소스 개발을 위해 지역 특화 전략을 추진함으로써 지역별 자체 친환경 수소를 생산할 수 있도록 프로그램화

○ (유럽) 초기 추진부터 목표를 그린 수소 확보에 중점을 두고 추진함

- 다양하고 경쟁력이 있는 수소 기업의 기술력을 바탕으로 수전해 기술 등의 개발에 대한 전략적 기틀을 제공
- 국내와는 다른 환경으로 지속적인 신재생에너지 보급 정책에 따른 것으로 수소 자체를 에너지 carrier로서 활용하고자 함
- 수소 자체를 부각시키기 보다는 신재생에너지 정책의 일환으로 인식하고 상호 조합적인 전략으로 추진함
- 각 EU의 국가를 관통하고 있는 파이프라인을 활용하여 수소 산업 연계가 용이한 장점을 가지고 있기 때문에 이송방법에 파이프라인을 특히 강조함

○ 벤치마킹 전략

- 현실적으로 유럽 혹은 미국에 비해 환경적으로 일본이 가장 유사한 것으로 판단됨. 따라서 일본의 사례를 벤치마킹 하는 것이 타당한 것으로 판단
- 수소 생태계 창출을 위한 보조금 제도를 현 단계에서 확대할 수 있는 방안을 검토하고, 1차 유인책을 확보한 이후 점차 감소하는 방향으로 추진

- 전 국토를 상대로 정책제안을 하지말고 기술개발 및 인프라 구축의 data 확보를 위한 소규모 시범도시 등을 통해 실증화의 장을 마련하는 정책적 토대를 확보하는 것이 장기적인 전망에서 타당
- 국내 상황을 고려할 경우 단기적인 인프라 구축을 위해 부생수소, 추출수소 등을 활용하고, 수소경제 확보를 위한 대량 수소 확보를 위해 수입하는 방향을 검토하되, 이송단가 저감 방안을 검토
- 저렴한 신재생에너지 확보를 위한 중동, 유럽 등과의 전략적 제휴를 고려하고, 국내의 우수한 기술을 토대로 해외 생산 전략정책을 통해 대량 수소 확보를 위한 방안으로서 검토
- 국내 기술 중 가장 우수한 연료전지와 수소 자동차를 활용하기 위한 전략적 로드맵을 확보하는 것이 중요함

2. 국내 정책 동향

□ 수소 정책 동향 개요

○ **(수소경제 마스터 플랜)** `05년 9월 수소경제 이행을 위한 마스터플랜을 수립하고, 단계별 개발, 보급 전략, 연료전지 사업화, 인프라 구축 등이 주요내용임.

- **(목표)** `40년 기준 최종에너지 중 수소에너지 15%를 목표로 함
- 수소자동차, 발전 등의 핵심이 연료전지이므로 활용분야에 대한 것을 연료전지에 기술개발을 집중하여 산업 파급을 기대
- (수소공급) `20년 화석연료 기반, `40년 신재생에너지 중심으로 생산 및 보급
- (수소자동차) `20년 200만대, `30년 500만대, `40년 1,250만대 보급 목표
- (발전용 수소연료전지) `20년 3.1 GW, `30년 6.1 GW, `40년 15.1 GW 목표
- (가정용 수소연료전지) `20년 1.3 GW, `30년 4.3 GW, `40년 8.3 GW 목표
- 비교적 높은 목표로 인하여 정책발표이후 별다른 이행 없이 후속 정책의 이니셔티브로서의 의의만 남음

○ **(국가 온실가스 감축 로드맵)** 큰 전략적 방향성을 에너지 효율개선과 신재생에너지의 도입으로 결정함

- (2009.11) 국가 온실가스 감축목표 `20년 예측량의 30% 결정
- (2014.01) 1차 `20년 목표 온실가스 감축 목표달성 로드맵 수립

- (2015.06) `30년 대비 37% 감축 방향 UN 제출

- (2016.12) 1차 2030 로드맵 및 기후변화 대응 기본계획 수립

· 신재생-청정에너지로 전환하여 새로운 에너지원으로 대체가 첫 번째 대응 전략

*** RPS 제도 : 신재생연료 혼합 의무화 제도**

*** RPS 의무비율 (`16) 3.5%, (`18) 5%, (`20) 7%로 상향**

· 청정 발전 비중 확대

- (2018.06) 현 상황에 맞는 2030 로드맵 변경

· 직접 감축 분야를 6개로 구분하고, 발전분야내 신재생에너지 발전 목표 상향 및 수송 분야의 정책적 방향성을 친환경 차 도입으로 명시

○ **(수소관련 정책)** 초기 정책의 방향성은 전반적으로 수소 자동차에 따라서 진행되었으며, 이는 수소에너지 혹은 수소 사회 구축으로서의 방향성 보다는 미세먼지와 기후변화 대응을 위한 방안으로 시작됨

- (2015.12) 수소차 보급 및 시장 활성화 계획

· 2030년 기준 수소차 10% 보급을 목표로 필요한 기술개발과 정책적 방향성을 제시함

· 수소자동차 구입에 대한 보조금 정책을 명시함

그림 2.94. 수소차 보급 및 시장 활성화 계획의 비전 및 목표
(수소차 보급 및 시장활성화 계획(안), 2015. 관계부처 합동)

- (2017.02) 친환경차 충전인프라 구축방안

· 수소, 가스, 전기차 충전을 위한 복합휴게소 건설을 `25년까지 200개 건설 추진

· 고속도로, 국도, 순환도로 중심으로 배치하고, 민간 투자를 기본으로 추진계획

- (2018.06) 친환경차 보급 확산을 위한 정책방향 및 수소차 산업 생태계 구축을 위한 협력방안

· 관계부처 합동회의를 거쳐 현실적인 방향으로 수소차와 충전소 보급 목표를 결정하였으며, 보조금을 `22년까지 지원하는 정책 방향성 결정

· 수소 버스 도입 시기를 `20년 이후로 명시하고, 수소자동차를 위한 수소단가를 최초로 6-8천원/kg 수준으로 명시

· 구매보조금, 수소충전소 설치비, 세금감면 등의 정책적 보조금을 확정

· 수소자동차 경쟁력 확보를 위해 추진할 기술 개발 방향성을 설정하고 규제 완화를 위한 정책 방향성을 제시

· 산업통산자원부를 통해서 일자리 3,800개 창출과 수소차 생태계 창출을 위해 `18년 1,900억원, `19년 4,200억원, `20~`22년 2조원 투입을 결정

*** 수소 충전소 SPC에 대한 방향성을 결정하고, 현대자동차, 효성중공업, SK가스, 일진복합소재, 덕양을 중심으로 협력체계구축**

구 분		'18	'19	'20	'21	'22
전기차	전기차 [천대]	56.5 [26.5]	98.5 [42]	156.5 [58]	236.5 [80]	350 [113.5]
	급속충전소 [천기]	3.7 [1.5]	5.2 [1.5]	6.7 [1.5]	8.2 [1.5]	10 [1.8]
수소차	수소차 [천대]	0.9 [0.7]	2 [1.1]	5 [3]	9 [4]	15 [6]
	충전소 [기]	39 [18]	80 [41]	130 [50]	200 [70]	310 [110]

※ 재정(보조금 지원), 비재정 수단(친환경차 협력금제도 등) 병행

그림 2.95. 전기 수소차 보급 확산을 위한 정책 방향내 수소차 보급 목표
(전기 수소차 보급확산을 위한 정책 방향. 2018, 관계부처 합동)

□ 수소경제법, 수소경제 활성화법, 수소산업을 위한 특별법 등의 수소 3법

○ **(목적)** 수소경제사회 이행을 위해 국회에서는 수소산업체계적 육성을 목적으로 발의

○ 전체적으로 수소3법의 추구 방향은 동일, 세부적인 내용에서 차이가 존재함. 표 2.27는 주요 내용을 요약해 놓임

○ (수소경제법) 제안목적으로 수소산업을 체계적으로 육성할 필요성을 역설하였고 가장 먼저 발의된 법안으로 수소3법의 기본적인 내용이 수록되어 있음

○ (수소경제 활성화 법안)연료전지를 공공분야·민간건축물 융복합사업으로 확대해야 한다는 내용을 추가함

– '수소경제법'은 수소연료공급시설을 주축으로 하고, 연료전지와 같은 수소이용시설은 특수목적 단지에 설치한다고 명시하였음

○ (수소경제 활성화 법안) 해당 법률의 목적은 산업발전 기반마련을 위해 국내외 시장진출 환경조성을 제시하였고, 인적자원 국제협력, 수출, 연구개발 등 구체적 사항을 추가적으로 제시하였음

○ 세 법안 모두 지향하는 바와 문제 인식에 큰 차이가 없다는 점은 국회 내부에서도 상당한 공감대가 형성되어 있음을 의미하므로, 향후 상호 유사성을 조율한다면 입법화는 차질 없이 진행될 것으로 예상 됨

표 2.27. 수소 3법의 요약 정리

구분	수소경제법	수소경제활성화법	수소산업을 위한 특별법
발의자	이원욱 등 10인	이채익 등 10인	김규환 등 29인
발의일	• 4월 10일	• 5월 23일	• 8월 6일
주요내용	· 이행기본계획 수립 · 수소전문기업 지원 · 수소특화단지 지정 · 시설·단지·특구 내 수소연료공급시설 설치 · 전력다소비 사업장·산업단지 연료전지 설치 · 연료전지 천연가스 요금체계 수립 · 재생에너지 수소 REC 가중치 우대 · 수소판매가격 공개	· 이행기본계획 수립 · 수소전문기업 지원 · 수소특화단지 지정 · 시설·단지·특구 내 수소연료공급시설 설치 · 전력다소비 사업장·산업단지 연료전지 설치 · 연료전지 천연가스 요금체계 수립 · 재생에너지 수소 REC 가중치 우대 · 수소판매가격 공개 · 공공분야·민간건축물 연료전지 설치 · 신재생에너지수소충전소 융·복합사업 REC 가중치 우대 · 수소산업진흥원 설립	· 수소산업 육성·지원계획 수립 · 자가용 연료전지 지원 · 연료전지 연료 요금체계 수립 · 수소산업 육성·지원위원회 구성 · 수소혁신 전문기업 지원 · 시설·단지·특구 내 수소이용시설 설치 · 재생에너지 수소REC 가중치 우대

출처: 김규환 의원실

표 2.28. 수소 3법의 비교

구분	수소경제법	수소경제 활성화법	수소산업을 위한 특별법
수소경제 기본계획 및 시행계획수립	○	○	○
연료전지 전용 요금제 신설	○	○	○
금융 및 조세지원	△	△	○
수소전문기업 육성	○	○	○
수소산업육성·지원위원회 설치	X	X	○
수소특화단지 지정	○	○	○
휴게시설 등에 수소이용시설 설치	○	○	○
재생에너지 수소에 대한 REC 가중치 추가부여	○	○	○
건물용 연료전지 설치 촉진	○	○	X
수소산업 관련 종합정보관리 시스템 도입	○	○	○
수소산업진흥원 설립	X	○	X

출처: 에너지경제연구원

□ 수소 경제 활성화 로드맵 및 기술 개발 로드맵

○ **(수소경제활성화 로드맵)** `18년까지 제시된 미세먼지 저감과 기후변화 대책안에서 벗어난 본격 수소 경제 활성화를 위한 로드맵을 `19.01에 발표

- 총 3단계로 구분하고 각 단계별로 전략을 추진하여, `40년 이후 수소 경제선도를 목표로 하고 있으며, 수소자동차 외적으로 수소 발전과 수소 공급량 및 단가에 대하여 명시함으로써 수소경제 구축을 위한 기반 로드맵을 제시함
- (`18~`22, 1단계, 준비기) 수소산업 생태계조성을 위한 제반 인프라 구축 및 법·제도적 기반 완비
- (`23~`30, 2단계, 확산기) 수소 이용의 비약적 확대와 대규모 수요, 공급, 시스템 구축
- (`31~`40, 3단계, 선도기) 해외수소생산 및 수전해를 통한 탄소프리 수요·공급시스템 구축

- **(수소교통)** 매년 발표되는 목표가 지속적으로 변동
  · (수소자동차) `15년 발표 기준 25년 10만대 보급 → `18년 발표기준, `22년 1.5만대 → `19년 발표기준, `22년 8.1만대
  · (수소충전소) `15년 발표 기준 25년 210개소 → `18년 발표기준, `22년 310개소 → `19년 발표기준, `22년 310개소
- **(수소에너지)** 그림 2.96 에서 볼 수 있는 것처럼 연료전지와 발전용 수소 터빈에 대해서 최초 언급하고, 각각의 수소 보급 목표와 가격을 명시함
- **(수소)** 수소생산을 현실적으로 1단계 부생, 추출수소로부터 3단계에서 그린 수소 공급으로 방향성을 설정함.

○ **(수소경제활성화를 위한 기술 로드맵)** `19년 3월부터 수소 경제활성화를 위한 기술로드맵 작성을 시작

- 과학기술정보통신부 주관으로 연구재단을 통해서 모든 부처의 협력을 기반으로 각계 전문가 및 관계자가 주도하여 기술개발 로드맵을 작성 중에 있으며, `19년 8월 경 초안이 작성될 계획임
- 총 5개 분야, 생산, 저장, 이송, 활용, 인프라 등으로 구분하여 각각의 분야에서 수소경제 활성화 로드맵 내 인프라 보급 목표와 수소공급량 및 목표 가격 달성을 위해 필요한 기술개발의 로드맵을 기획중에 있음

□ 시사점

○ 최초 산업부를 통한 수소경제 마스트 플랜은 미국의 정책적 방향에 대한 기대로 인해 시작된 의미가 높으며, 비교적 높은 목표 제시로 인하여 달성 자체에 대한 비판으로 인하여 후속 대책이 없이 중단됨

○ 비교적 최신 정책방향은 미세먼지 저감과 온실가스 저감에 대한 시대적 상황에 맞추어 시작되었으며, 따라서 친환경 정책내 일부분으로서의 수소교통을 중심으로 시작되었음

- 수소자동차 및 충전소의 보급등이 명시되어 있으나, 별도의 근거가 없어 발표되는 정책에 따라서 보급목표가 달라지는 현상이 나타남
- 보조금 정책의 활성화를 명시하였으며, 해외 사례를 벤치마킹하여 제시됨으로써 `19년 1월 수소경제 활성화 로드맵까지 연계

○ `19년 수소 경제 활성화 로드맵은 이러한 정책의 초점을 모아 발표된 본격적인 수소 경제로서의 로드맵으로 해석될 수 있음

- 수소 경제 마스터 플랜에 대해 이어 받은 경향이 있으나, 현실적인 목표 제시를 위해 현재 국내외 정책 및 산업 동향을 반영함

* ( ) : 내수

		2018년	2022년	2040년
모빌리티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	-	-	12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭	-	-	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
	열차·선박·드론	R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

* 위 수소차 목표는 내수와 수출을 포함한 생산량임

* ( ) : 내수

			2018년	2022년	2040년
에너지	연료전지	발전용	307.6MW	1.5GW (1GW)	15GW 이상 (8GW)
		가정·건물용	7MW	50MW	2.1GW 이상
	수소가스터빈		'30년까지 기술개발 완료 → '35년경 상용 발전		

		2018년	2022년	2030년	2040년
공급·가격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年 이상
	공급방식	①부생수소(1%) ②추출수소(99%)	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50% ② : 50%,	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70% ② : 30%,
	수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

그림 2.96. 수소경제활성화 로드맵 내 핵심 목표
(수소경제활성화 로드맵. 2019, 관계부처 합동)

- 수소경제를 에너지 시스템 변화로서 인식하고 있으며, 신기후체제의 저탄소에너지 지향점에 있어 재생에너지-수소를 결합하는 방향 중시
- 수소경제에 있어 대표적으로 수준의 차이는 있으나 1차적으로 수소 자동차 및 충전 인프라 도입에 대한 정책이 가장 활발
- 그럼에도 불구하고 수소 경제 활성화 로드맵 자체 명시된 보급 목표 등이 `05년 제시된 목표에 비해서는 현실적이나 여전히 근거가 불명확한 단점이 있음

○ 수소차 보급 목표

- 국내 수소차 보급 목표를 기준으로 `22년 8.1만대, `40년 620만대임. 이는 연간 32만대 수준으로 수소자동차를 생산한다는 의미임. 현재 현대자동차 국내 생산대수가 약 185만대 수준이므로 약 17% 내외의 생산라인으로 돌려야 하는 의미임.
- 그림 2.96에서 세계 수소자동차 `30년 누적 보급 대수가 최대 160만대이며, `22년 기준으로 약 12만대 내외일 것으로 예상하고 있음. 또 다른 전망에 따르면, 수소자동차 `22년 세계 시장이 10만5720대로 예측되고 있으며, `25년 세계시장이 25만대로서, 현재 수소차 보급 목표는 달성이 어려운 실정으로 사료됨 (매일경제신문, 2019.01.04., 한국일보, 2014.09.15.)
- 실질적인 목표 달성은 어려울 것으로 예측되지만, 지속적인 인프라 구축과 보조금 정책 등의 뒷받침이 반드시 필요할 것으로 사료되며, 또한 목표달성 가능성을 위한 시범사업 등을 추진함으로써 지속적인 목표 달성을 위한 실행전략 추진 및 실행달성 목표 추진이 필요

○ 수소 충전소 보급을 위한 정책 동향 분석

- 행안부 발표 기준 국내 충전소는 `18년 기준 11,553개이며, 자동차 등록 대수 기준 2320만대 수준임, 매년 증가율은 `14년 이후로 70만대 수순임. 이는 충전소 기준으로 1개가 충당하는 자동차는 2,000 대 수준임.
- 현재 주유소 자체는 지속적으로 감소하고 있는 추세로 `16년 12,018 개소에 비해 463개소가 감소하였음. 이는 주유소 개수의 증가에 따른 경쟁력 약화 및 이에 따른 폐업을 의미하며, 현 추세로 볼 경우 수소 충전소는 유사한 상황이 있을 것으로 판단됨
- 현 계획상 `30년 기준 수소충전소는 520개 및 수소자동차 63만대 보급임. 이는 수소충전소 1기당 1211 대의 수소 자동차를 충당하는 계획으로 충전소가 절대적으로 많다는 것을 의미함. `22년 기준 1기당 261대, `40년 기준 1기당 5,167대를 목표로 제시

- 현재 충전소 1개소가 1일 담당할 수 있는 수소자동차 충전대수는 100대 미만이므로 수소 자동차 보급 계획에 비해 수소 충전소는 절대적으로 부족함. 게다가 주유소 사례를 볼 경우 수소충전소의 일일 운영시 적자는 명확하게 발생될 것으로 예측되는 바, 급속 충전을 통한 1일 충전대수의 급격한 증가가 없는 한 수소 충전소는 무조건 적자일 것으로 사료됨
- LPG 충전소와 복합을 추진하는 등의 별도의 전략을 추진이 필요하며, 단독 충전소 운영시 운영에 대한 보조금이 필요할 것으로 분석됨. 따라서 수소 충전소 자체는 반드시 복합 충전소 형태를 구성 전략을 추진해야 하며, 별도의 안전 및 설치 기준 등의 마련이 시급

○ 수소 연료전지 보급

- 국내 가정용 연료전지 보급은 표 2.16에서와 같이 `17년 기준으로 2,666대이며, 가정용 1 kW기준으로 2.6 MW 수준임. 년간 200~300대, 평균 년간 250대 내외, 0.25 MW 수준을 보급하고 있는 실정임
- 현재 로드맵상 `22년 50 MW를 보급하려면, 매년 10 MW 이상 즉 10,000 채 이상을 보급해야 하는 상황으로 현재 추세상 달성이 어려운 목표임

○ 수소경제 활성화 로드맵의 전반적인 사항

- 수소 경제활성화 로드맵 목표 달성을 위해서는 기반 기술의 확보와 목표 달성을 위한 실질적인 이생수단 확보가 필요함
- 그럼에도 불구하고 공격적인 목표 지향에 따른 어려움이 있을 수 있으므로 시범사업 구축 등을 통한 목표달성 가능성 평가와 실질적인 목표 수정이 요구되며, 아울러 이를 위한 구체적인 실행계획 수립과 평가가 강력하게 요구되는 상황임

제 4절 대내외적 수소에너지 활용을 위한 환경 분석

1. 미국

□ 미국의 수소기술개발 로드맵

○ 미국은 전반적으로 철저하게 수소교통을 중심으로 기술개발 로드맵이 제시되어 있으며, DOE와 민간 단체 혹은 협회와 함께 수립함

○ 따라서, 경제성 논리에 입각하고 있으며, 시기별 그리고 최종 목표를 제시하여 기술개발 목표 수준을 평가하고 있음

○ 전 세계 기술 개발 로드맵 상 경제성에 대한 부분은 미국에서 제시된 목표가를 기준으로 각 국가별 상황을 대입하여 수립할 만큼 기본이 되는 기술개발 로드맵임

○ `13년 기준으로 제시된 로드맵을 토대로 `17년에 추가로 제시되었음

○ 전반적인 로드맵은 큰 차이점이 없음

□ 미국의 생산 기술개발 로드맵

○ (미국, DOE) Hydrogen Production Technical Team Roadmap (2013, 2017)내 상세하게 설명되어 있으며, 철저하게 모든 기술이 수소 교통 중심으로 구성됨

- 수소를 주요 에너지 carrier로서 접근하고 있으며, 주로 수소 자동차에 초점을 맞춘 생산기술 개발에 대한 로드맵으로서 접근
- 대용량 생산 가능 기술을 현재 천연가스 추출, 석탄 가스화, 고온 수전해 등으로 분류하고, 각각 단기, 중기, 장기의 주력 생산기술로 분류 (그림 2.97(위) 참고)
- 수소 핵심 기술의 타겟을 세금을 제외한 수소의 분배단가를 2~4 $/gge에 두고 생산기술에 대한 로드맵을 설정

  *** gge : 휘발유 1 gallon과 등가로서의 수소 단위로 약 1kg을 의미**
- 수소생산 기술별로 현황과 연구방향성을 일목요연하게 정리함
- 각 생산 기술별로 연구해야 하는 당위성으로서 각 지역별 적합한 수소 원료 및 생산방식이 존재하기 때문에 각 기술별 연구개발에 대한 적절성을 분석

- 실제 **연구개발 목표를** 효율성 등에 두는 것이 아닌 **목표 생산 단가별로 정리**하여 상용화 기술로 접근이 가능하도록 로드맵을 구성함
  *** 2017년의 기술 로드맵은 2013년이후 현황을 업데이트하였으나, 큰 차이점이 없음**
- 표 2.29는 2013년에 제시된 로드맵상 수소 생산 기술별 목표로서 제시된 생산 단가를 나타낸 것임.

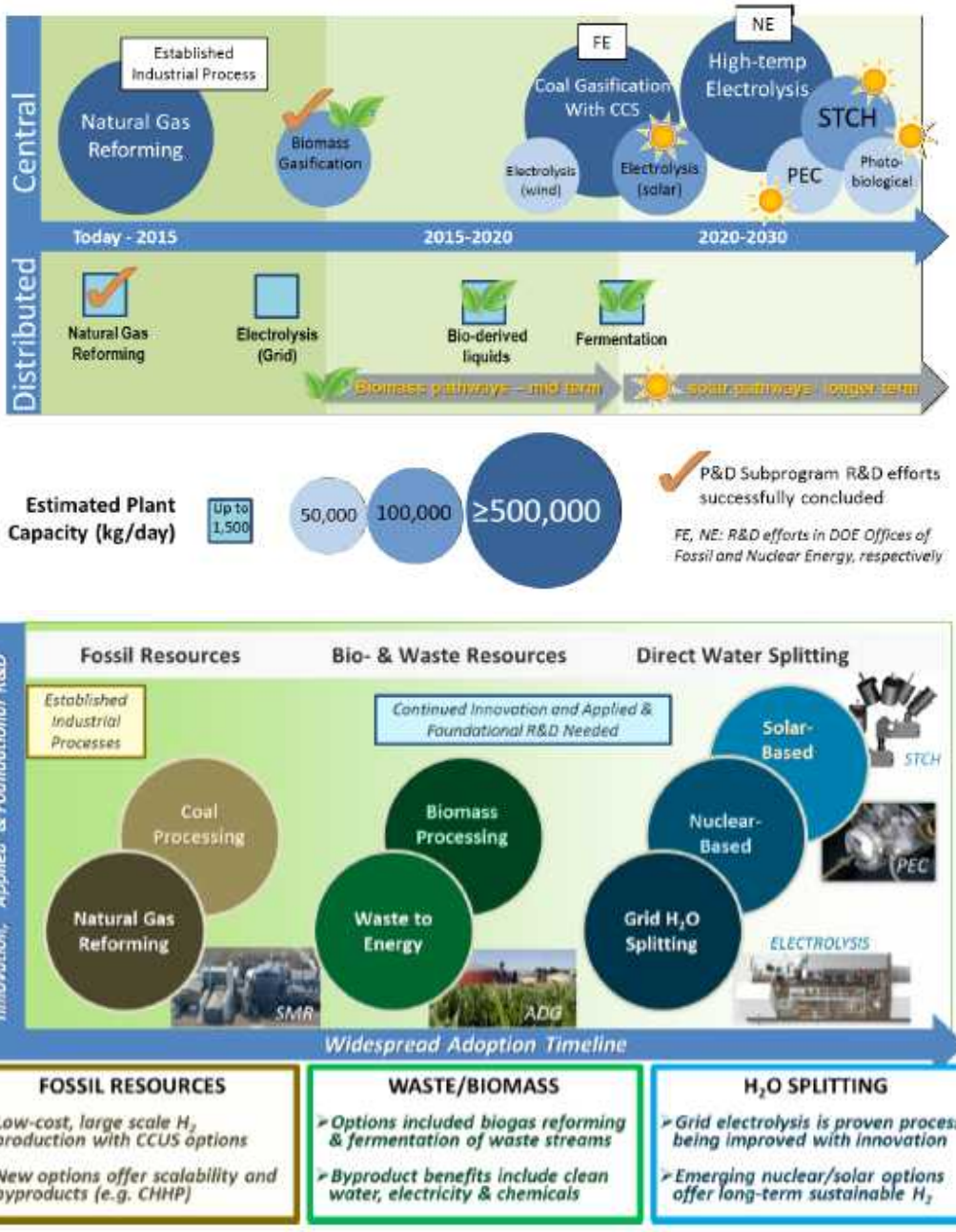


그림 2.97. 미국 DOE에서 제시한 2013년(위)과 2017년(아래) 기술 개발 로드맵
(Hydrogen Production Tech Team Roadmap, 미국 DOD, 2013, 2017)

표 2.29. 미국 DOE에서 제시한 생산기술 로드맵의 목표 생산 단가
(Hydrogen Production Tech Team Roadmap, 미국 DOD, 2013)

수소 생산기술	목표 년도	생산단가 ($/kg H_2)	이송비용 포함 ($/kg H_2)
분산형 천연가스 추출	2015	2.1	3.8
바이오연료 추출	2015	5.9	7.7
	2020	2.3	4.0
바이오메스 가스화	2015	2.1	–
	2020	2.0	–
분산형 수전해	2015	3.9	–
	2020	2.0	–
중앙형 수전해	2015	3.0	
	2020	2.0	
열 화학 공정	2015	14.8	
	2020	3.7	
광 전기화학적 공정	2015	17.3	
	2020	5.7	
광 생물학적 공정	2020	9.2	
발표 공정	2020	10	

□ 미국 수소 이송기술개발 로드맵 분석

○ 미국 수소 이송 기술에 대한 것은 표 2.30에 있는 것처럼 2013년 적성된 로드맵에 구체적으로 기술되어 있음

– **(튜브트레일러)** `20년 기준 이송압력 520 bar와 운송량 940 kg은 이미 Air Liquide, Air Products, nel사등 여러 기업에서 소유한 기술로 달성한 것으로 평가될 수 있음

– **(초저온 압축가스 튜브트레일러)** `20년 기준 90K 온도에서 1,500 kg H2운송능력과, 340 bar압력 조건을 목표로 제시

– **(액화 튜브트레일러)** `20년 기준 이송밀도 70 kg/m^3는 이미 달성되었으나, 재생시 1 $/kg H_2는 달성 목표이며, 현 40%내외의 에너지 손실율을 30% 이내까지 목표로 제시.

- **(파이프라인)** 실질적으로 투자비용외적으로 leakage 750 kg H_2/mile/year를 목표로 제시하였으며, 분배시 손실율 160 kg H_2/mile/year 이하를 제시함
- 현재 시점에서 기체 압축이송 방식에 의한 튜브트레일러와 파이프 라인은 이미 상용화된 상태에서 운영중임
- 실질적인 기술 목표 제시는 `20년 이후로, 기체압축저장 목표는 Air products, Air Liquide, Linde 등에 의해 실현되었음

표 2.30. 미국 DOE에서 제시한 이송기술 로드맵
(Hydrogen Delivergy Tech Team Roadmap, 미국 DOD, 2013)
(Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan, US DOE, 2015)

수소 이송기술	비목	`15	`20	궁극적
운송단가	중앙집중식 생산 수소 운송 비용 ($/kg H_2)	2.19	2.15	< 1.7
	분산형 생산 수소운송 비용 ($/kg H_2)	3.35~4.35	2.0	< 2.0
기체압축이송	운송 용량 (kg H_2)	720	1,100	
	저장압력 (bar)	250	500	
극저온 기체압축이송	운송온도 (K)	–	60 K	
	운송용량 (90 K)	–	1500	
	압력 (bar)	–	340	
액화 수소 이송	이송량 (kg H_2)	4,554	4,554	5,250
	재생 단가 ($/kg H_2)	–	1	
	운송시스템 전체효율 (%)	–	≥ 70	
파이프 라인	H_2 누출 (운송수소량 대비 %)	< 0.5 < 0.02	< 0.5 (운송라인) < 0.02 (분배라인)	< 0.5 < 0.02
	건축비 $ (8in배관, 1mile 기준)	765,000 355,000	695,000 (5억/km) 230,000 (1.7억/km)	520,000 140,000
	수명	–	50 년	50 년

□ 미국 수소 저장기술개발 로드맵 분석

○ 저장기술은 크게 기체 압축, 극저온 압축, 금속수화물 저장, 흡착저장, 액상저장 등으로 구분되어 있으며, 저장 용량과 단가로 구성되어 제시됨

○ 저장자체 기술에 대한 개별 목표가 아닌 모든 저장 기술의 경제성에 초점이 맞추어져 있으며, 현재 중량별 목표, 부피별 목표 자체는 달성한 기술이 존재하나 에너지 소요량에 따른 경제성 부족으로 인하여 적용성이 떨어지는 기술이 존재

- **(경제성)** 가장 경제적인 저장 기술은 현재 300 bar 기체 압축이며, 금속저장 기술은 에너지 소요량이 가장 높은 기술임
- **(저장 용량)** 극저온 압축 기술은 저장 용량 최종 목표를 맞출 수 있는 유일한 기술이나, 에너지 단가로 인하여 경제성 조절이 어려움. 일반적으로 중량에 따른 저장 목표는 금속저장을 제외하고 유사하게 근접하였거나, 달성된 기술이 다수 존재하나, 부피에 따른 저장 목표는 극저온을 제외하고 달성된 기술이 없음

표 2.31. 미국 DOE에서 제시한 저장기술 로드맵
(Hydrogen Storage Tech Team Roadmap, 미국 DOD, 2013, 2017, **저장기술 로드맵 자체가 수소 자동차를 목표로 설정된 것임**)

	수소 저장기술	중량 (kWh/kg)	부피 (kWh/L)	현재단가 ($/kWh)
`17	700 bar 기체 압축	1.4	0.8	15
	300 bar 기체 압축	1.8	0.6	13
	극저온 (500 bar)	2.3	1.4	18
	금속저장 ($NaAlH_{4/Ti}$)	0.4	0.4	43
	Sorbent (MOF-5, 100 bar, HexCell, LN_2 cooling)	1.3	0.7	15
	액상 저장 (AB-liquid)	1.5	1.3	17
`20		1.5 (0.045 kgH_2/kg)	1.0 (0.03 kgH_2/L)	10 (333 $/kg H_2)
`25		1.8 (0.055 kgH_2/kg)	1.3 (0.040 kgH_2/L)	9 (300 $/kg H_2)
최종목표		2.2 (0.065 kgH_2/kg)	1.7 (0.050 kgH_2/L)	8 (266 $/kg H_2)

□ 캘리포니아 로드맵

○ `14년 캘리포니아 지역의 수소자동차 상업화를 위한 로드맵을 제시하였으며, HyPPO 프로젝트로 명명

○ 주로 캘리포니아 지역내 수소 스테이션과 수소 자동차 보급을 위한 계획안에 대해 제시하고 있음.

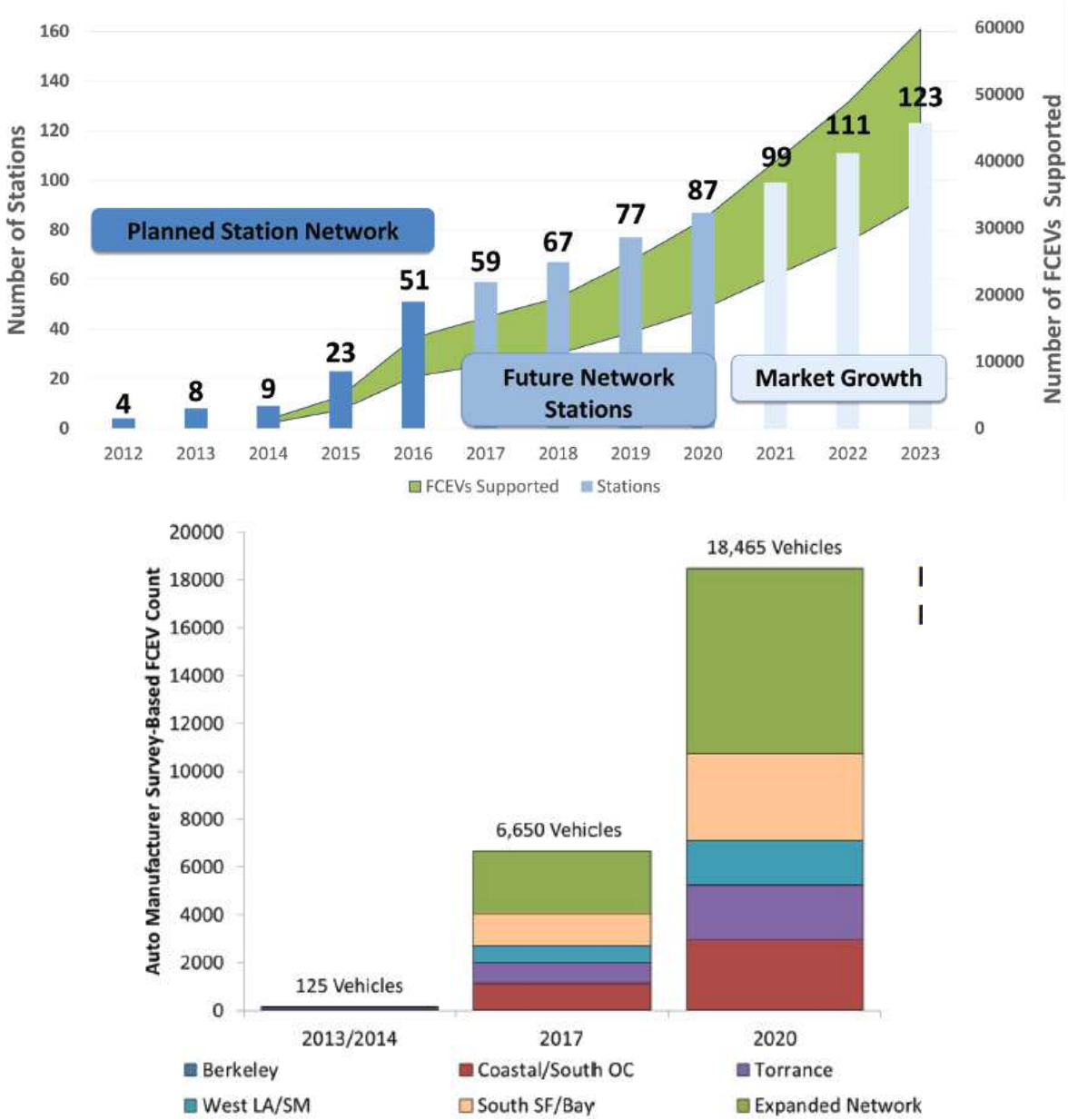


그림 2.98. `14년 제시된 캘리포니아 수소차 보급 로드맵
(A California Road Map, The commercialization of Hydrogen Fuel Cell Vehicels, 2014)

○ `23년 기준으로 123개의 수소충전소를 보급하고 이때 수소 자동차는 약 35,000 ~ 60,000 대를 충전할 수 있도록 로드맵은 제시하고 있음. 전반적으로 분석된 충전소당 일 3,300 kg H_2/day 용량을 계획하고 있으며, 이 숫자는 2,700~4,800 대를 충전할 수 있는 양으로 분석함.

○ `20년 수소 자동차 보급 목표는 18,465대로 하였으며, 이때 충전소 보급 목표는 87개소임. 따라서 충전소당 약 212대의 수소자동차 충전이 가능하도록 목표를 세움

○ 그러나 실질적인 수소 충전소 보급 목표는 조금씩 늦어지고 있으나, `17년보다는 속도가 붙은 것으로 분석되었음

- `19년 현재 기준으로 연말까지 64개소가 예상되고 있음 (CaFCP 홈페이지참고)

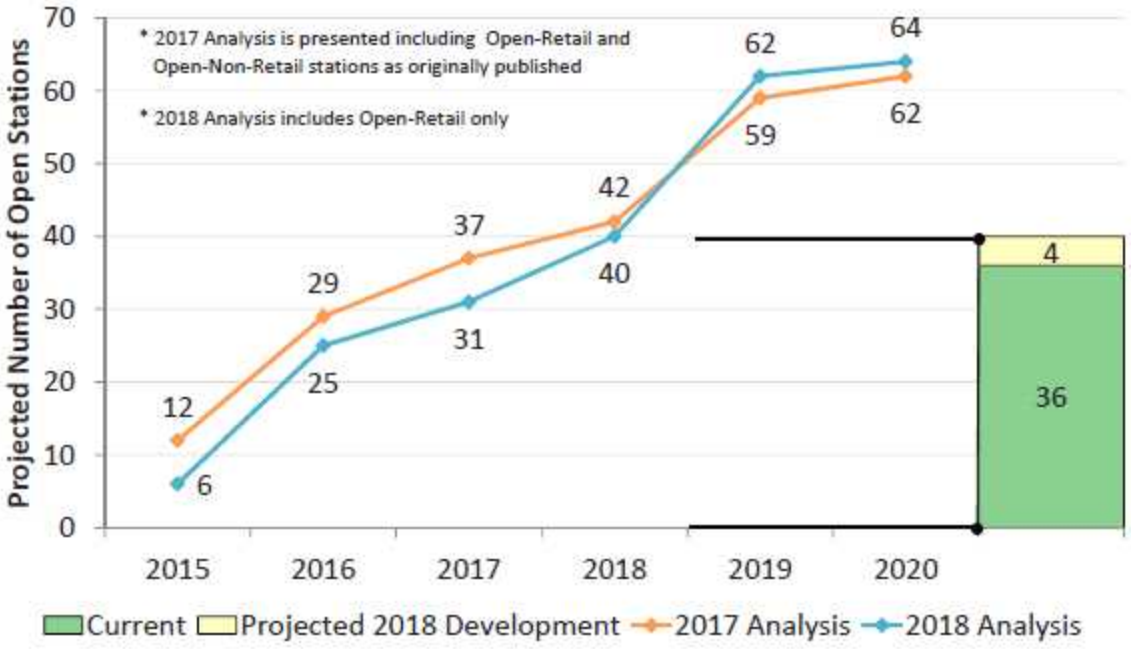


그림 2.99. `18년 기준 수소 충전소 목표 달성도 분석
(2018 Annual Evaluation of Fuel cell Electric Vehicle Deployment & Hydrogen Fuel Station Network Development, 2018.)

○ 수소 자동차 보급에 대한 전망은 미국내 자동차 제조업체 설문조사 결과를 볼 경우 `30년 1,000,000 대 보급은 어려울 듯이 판단되며, `24년 47,200 대 보급에 그칠 것으로 예상되고 있음.

- `17년 현황 및 예측치에 비해서는 비교적 긍정적이 전망으로 나타났으나, 그래도 `30년 목표달성을 위해서는 시장 전망이 부정적인 면이 존재함.

- `12년 발표된 캘리포니아 로드맵 상의 예상 수소 자동차 보급 대수는 `17년 기준 53,000대, `18년 기준 5,3000 대 초과였으며, 현재 6,000 대 수순은 약 11.3% 수준임 그림 2.100에서 보이는 것처럼 캘리포니아 지역내 친환경 차량 중에서 수소 자동차의 시장 성장 속도가 가장 낮을 것으로 예측되기 때문임. `13년 최초 현대자동차에 의해 수소 차량이 보급된 이후로 예측 전망은 200,000대 내외의 규모가 될 것으로 예측되고 있으며, 전기차의 1/4 수준임

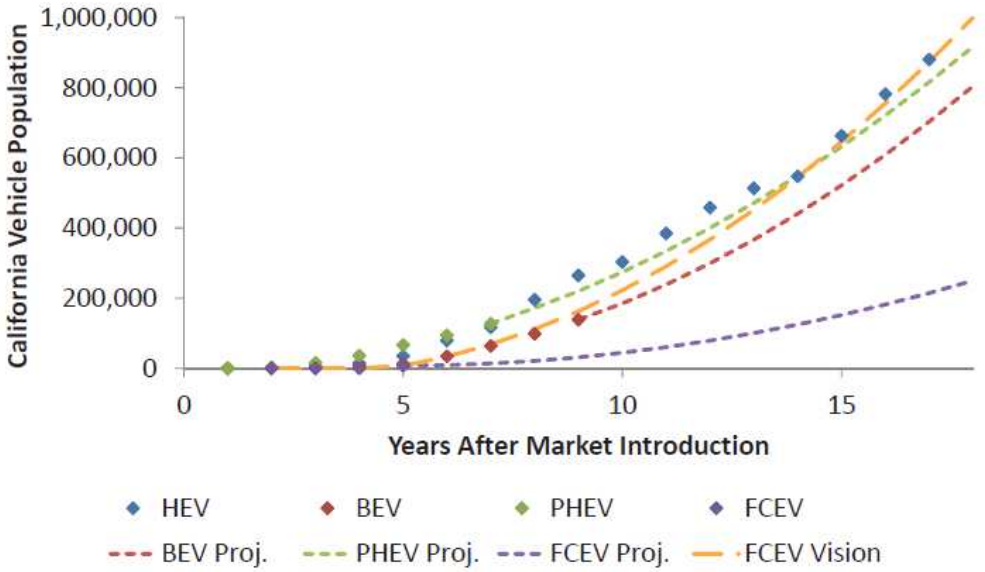


그림 2.100. 친환경 자동차 보급 전망
(2018 Annual Evaluation of Fuel cell Electric Vehicle Deployment & Hydrogen Fuel Station Network Development, 2018.)

□ 미국 시사점 및 PESTLE 분석

○ 트럼프 정부에서 파리 협정 탈퇴를 통해서 중앙정부의 정치적 모티브 상실과 이에 따른 수소마켓 생성의 축소

- 부시 정부 이후 강한 정책적 의지는 없었으며, 캘리포니아 주정부에 의해 수소 자동차 위주의 정책만 유지

○ 캘리포니아 지역에서 내연기관에 의한 CO2, NOx 등 저감을 위한 내연기관 저감 정책에 의해 친환경차량이 급증

- 친환경 차량은 지속적으로 급증하고 있으나, 실질적으로 전기차와의 경쟁이 심화되고 있는 상황임

- 캘리포니아 보급 차량 수와 시장 전망에 의하면 향후 `30년까지 전기차 판매량의 25% 내외로 분석되고 있어 파급력이 크지 않을 것으로 전망함
- `19년 기준으로 전기차량 약 95,000대에 비해 수소차량 6,000대 수준임

○ 중앙정부 차원에서 수소 사회 구축에 대한 장기적인 로드맵이 없어 DOE를 통해 기술 개발 로드맵 위주로 편성되어 있음

- 장기적인 목표로서 비전이나 수소 공급의 목표가 없음
- 따라서 지역적 (캘리포니아 주)의 수소 자동차 공급 `30년 기준 1,000,000대 보급에 대한 목표를 토대로 수소충전소 구축 목표가 제시되고 있음
- 실질적으로 최근의 캘리포니아 주의 분석에 따르면, `24년 기준으로 수소자동차 보급이 약 47,200 대 수준으로 `30년 기준 목표 달성은 어려울 듯 나타나나고 있으며, 매년 보급 목표 수준에 도달하지 못하고 있음

○ 이러한 미국의 상황을 볼 경우 미국에서 단기간내 수소 경제 도입은 어려울 듯 보이며, 장기적인 로드맵 구축의 필요성과 당위성이 강조됨을 알 수 있음

- 미국에서 현 정부에 있어 핵심 keyword는 경제성이며, 수소경제는 아직 경제성 확보가 되지 못한 사유로 인하여 도입이 지연되는 것으로 분석

○ 기술 로드맵의 지향점은 장기적인 관점에서 경제성확보 기술의 도입이 핵심이 될 것으로 전망됨

- 현 단계에서 경제성 확보가 가능한 분야와 기술은 수소 자동차 분야와 추출 수소 분야이므로 단기 목표시 기술을 이 분야에 초점을 맞추어 진행하되, R&D에 의한 기술 경쟁력 확보에 노력

○ **(정치적)** 현 정부에 있어 수소경제 추진의 정치적 모티브 상실에 따른 장기적인 비전과 로드맵이 없이 지자체에 의존

- 캘리포니아의 내연기관 배제 정책에 의존하고 있으나, 수소경제라기 보다는 친환경 차량 도입에 초점이 맞추어져 있음

○ **(법적)** 캘리포니아 주의 보조금 정책에 의존하고 있으며, `40년 이후 내연기관 판매금지 법안 통과시 수소자동차 보급 등이 확대될 것으로 전망

- AB 8 법안에 다른 보조금 확보

○ **(사회문화적)** 청정성 유지에 대해서는 사회적 동의가 있으나, 경제성에 따른 친환경 차량 중 전기차 확보로 방향성이 맞추어짐

- `13년 이후 아직까지 미비한 시장 확대로 매년 2,000대 내외의 차량 판매
- 수소 충전소 등의 인프라 확대가 중요함

○ **(기술적)** DOE의 모든 기술 로드맵은 수소 전주기 기술에 대한 경제성 확보에 초점이 맞추어져 있으며, 이는 전기차와의 기술 경쟁력 확보 측면에서 중요함

- 기술경쟁력 확보가 `25년까지는 어려울 것으로 보이며, 전기차에 비해 불리할 수 있음

○ **(경제적)** 전기차에 비해 가격적으로 불리한 수소자동차의 경쟁력 확보를 위해서는 보조금 정책의 지속적인 유지가 필요함

- 현 단계에서 경제성 확보 가능 기술은 추출 수소이나, CO_2발생의 약점이 있으므로 CCS 기술과의 접목이 필요

○ **(환경적)** 캘리포니아의 청정성 확보 정책 기조에 따른 친환경차량 도입 정책은 지속적으로 확대될 예정임

그림 2.101. 미국 수소 로드맵에 따른 PESTLE 분석결과

2. 유럽

□ 유럽의 수소기술개발 로드맵

○ 유럽은 `19년 Hydrogen Europe을 통해서 기술개발 로드맵을 발표하였음

○ 전반적으로 수전해를 통한 수소 생산기술을 강조하였으며, 이는 파리 협정 이행을 위해 CO_2 프리 수소를 목표로 하기 때문임. 따라서 전반적인 로드맵이 신재생에너지와의 조합을 중점으로 제시되며, 추출 수소에 대해서도 CCS 결합을 강조함

○ 각 기술별로 단가 목표를 명확하게 제시하여 추진하고 있으며, 단기, 중기 장기 등 총 3단계로 구분하여 목표 제시함

□ 유럽의 수소생산기술개발 로드맵

○ (유럽, Hydrogen Europe) Hydrogen Technology Roadmaps 2019 내 생산기술

- **(Hydrogen Europe)** 유럽의 수소와 연료전지 협회로 100개 이상의 회사와 68개 이상의 연구기관 그리고 13개의 국가기관이 연합한 단체로 이 기관에서 수소 사회 구성을 위한 로드맵과 기술 로드맵을 2019년 별도로 발행
- 기술적 분류를 총 8개의 카테고리로 구분하였으며, 그중 수소 생산기술은 총 2개의 카테고리로 분류하여 정리하였음. 특히 신재생에너지와 수전해 분야에 집중하여 기술 로드맵 목표를 설정하였음
- 전체적인 수전해 로드맵의 목표는 그림 2.102에서처럼 2030년 20-40 GW의 수전해 설비 설치를 통해서 수소를 생산하되, 생산단가를 **3€/kg H_2 로 목표화**
  · **(`23~`25)** 1000개의 1~10 MW 규모의 수전해 시스템 보급 : 5~8 €/kg H_2
  · **(`27)** 100개의 100 MW 이상 규모의 수전해 시스템 보급 : 6 €/kg H_2
  · **(`30)** 50 kW/kg 효율의 수전해 시스템과 5€/MWh전력을 활용: 3 €/kg H_2
- **(비전)** 2030년 수전해 기술로 수소 생산의 전세계 리더
- **(역할)** 수전해 기술을 **신재생에너지**의 대규모 **에너지 저장 기술 역할**로 규정
- 타 수소생산 기술로서는 바이오메스와 폐자원으로부터 수소 생산하는 기술만을 대상으로 고려함. 따라서 광 생물학적 수소 생산과, 광화학적 물분해를 통한 수소 생산 기술 그리고, 경제적인 보급목표로서 추출수소와 카본포집기술을 결합 등을 대상으로 로드맵을 설정함. 생산 단가 목표는 **추출수소와 카본포집기술 결합기술에 대해 2 €/kg H_2 이하**임

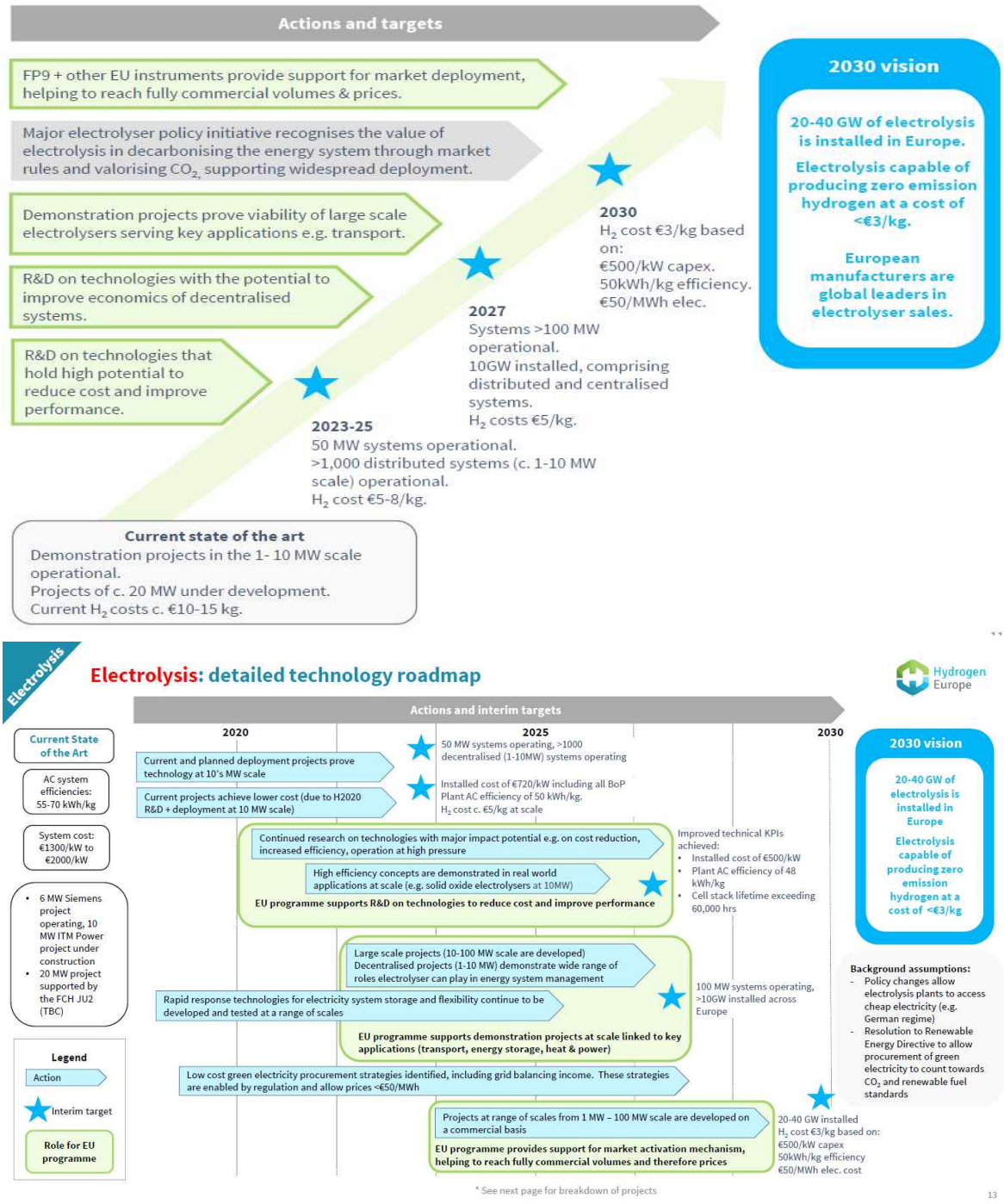


그림 2.102. 유럽 수전해 수소생산기술 로드맵
(Hydrogen Technolgy Roadmaps Full pack, Hydorgen Europe, 2019)

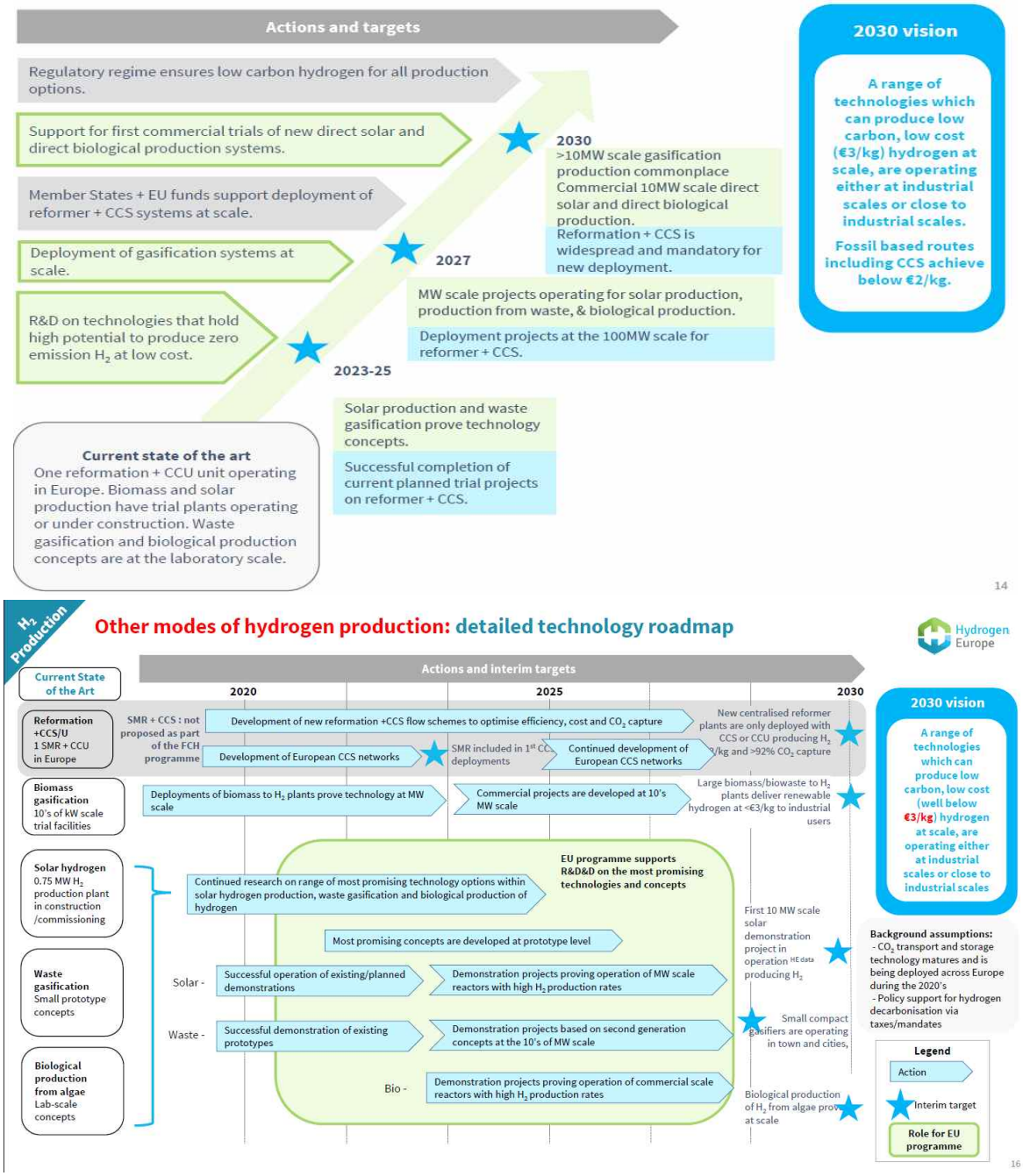


그림 2.103. 유럽 기타 수소생산기술 로드맵
(Hydrogen Technolgy Roadmaps Full pack, Hydorgen Europe, 2019)

□ 수소저장기술개발 로드맵

○ 저장 기술 로드맵 목표는 저장 기술로 타겟이 맞추어져 있으며, 현재 육상의 기체 압축기술 기준 15€/kWh의 저장 단가를 `30년 기준 5 €/kWh 이하로 맞출 것으로 목표로 제시함

- **(`25)** R&D 프로그램으로 상업화를 위한 기술 향상에 주력
- **(`27)** 육상 저장 시스템의 목표 10 €/kWh이하 (분배를 위해 초점을 맞춘 것으로 10 ton 이상을 목표로 함)

· 운영비를 기준으로 0.01 €/kWh의 기술개발을 목표로 제시함.

- **(`30)** 지하 저장 시스템 목표 5 €/kWh이하 (대형저장에 초점을 맞춘 것으로 1,000 ton 이상 저장을 목표로 함). 추가로 가스 파이프내 수소 저장 기술을 하이브리드로 제안

· 운영비를 기준으로 0.05 €/kWh의 기술개발을 목표로 제시함.

○ (액상저장) 액화, LOHC, 암모니아, 메탄올 등으로 제시하고 있음

- **(액화)** 현재 에너지 소모량 12 kWh/kg을 6~9 kWh/kg까지 달성을 목표로 제시하고 있음. 단 2030년 이후 상업화를 목표로 제시하고, 효율 증대를 위한 R&D 프로그램 및 실증프로그램으로 제시함
- **(기타)** TRL 5이하로 분석되고 있으며, 에너지 저장시 손실율을 수소 에너지의 10% 이하로 맞출 것으로 궁극적이 목표로 제시함

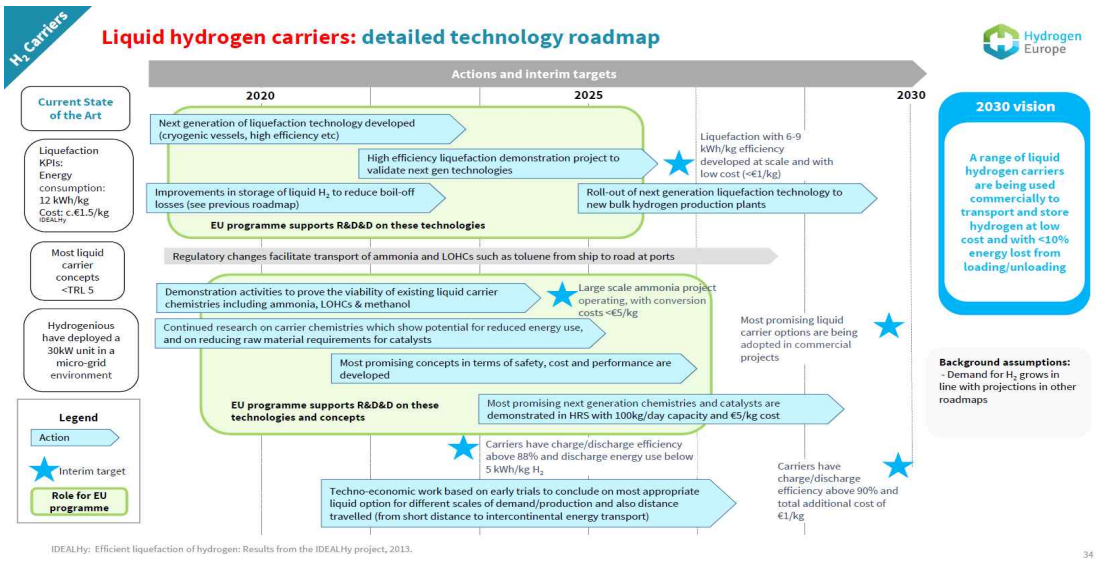


그림 2.104. 유럽 액상 저장기술 로드맵
(Hydrogen Technolgy Roadmaps Full pack, Hydorgen Europe, 2019)

□ 수소이송 및 분배 기술개발 로드맵

○ 이송기술을 튜브트레일러, 배, 파이프라인으로 구분하여 제시하였음

○ 최종 운송비용 목표를 1€/kg 이하로 제시하였으며, 이를 `25년까지 고압압축 저장을 목표로 제시하고, 액화수소 이송을 `27년까지 개발하며, `30년에 천연가스 파이프라인에 주입하고 분리하는 기술 개발을 로드맵으로 제시

– (튜브트레일러) `25년 700 bar, 1,5 ton 운송용 개발

– (파이프라인) 1€/kg 이하의 운송비용 목표를 위해 일 1,000 kg 이상의 천연가스 혼합주입 기술을 개발하고, 고압 수소 파이프 라인 기술을 별도로 개발

○ 수소 스테이션 용 기술을 수소 압축, 미터링, 고순도, 분리 기술로 정리하여 제시하고 있음.

– (압축기) `25년 목표로 에너지 소모량 3.5 kWh/kg 이하와 200 kg/d 이상의 압축능력을 목표로 제시

– (기타) 고순도의 분리기술과 1%내외의 정확한 측정 미터 등의 기술개발을 제시

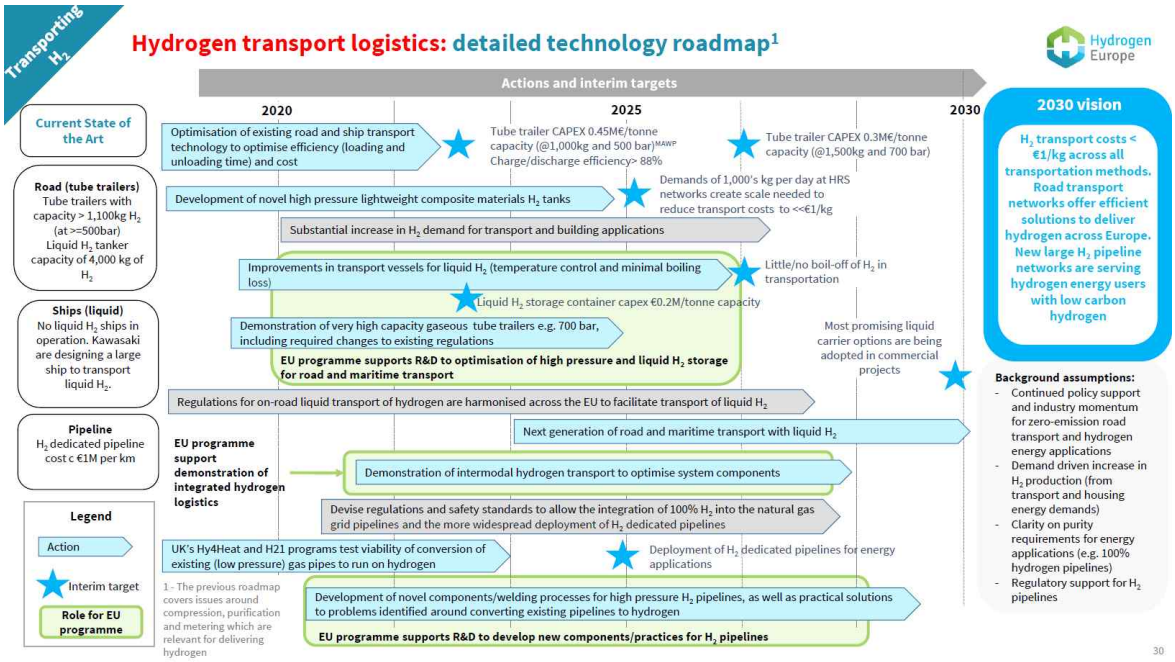


그림 2.105. 유럽 이송기술 로드맵
(Hydrogen Technolgy Roadmaps Full pack, Hydorgen Europe, 2019)

□ 기타

○ (수소충전소 보급 목표) `25년까지 1000개, 그리고 `30년까지 4500개 보급을 목표로 제시함.

- 수소 자동차내 200만톤/년을 충전, 하며, 현재의 구축비용의 50% 절감 등을 구체적인 성능 목표로 제시

○ (수소 교통) 수소 승용차외 수소 열차, 항공기, 기계차, 수소 버스, 수소 선박 등의 다양한 탈것에 대해서 로드맵으로 제시함

○ (연료전지) 최종 `30년 기준 발전용 연료전지를 최소 년간 100,000 개 이상 판매를 목표로 제시하고 있으며, 최소 500,000개의 가정용과 빌딩용 연료전지 보급을 목표

- (1단계 `23-`25) 0.3~5 kW이내의 소형 연료전지 수명 75,000 시간과 5,500 €/kW 목표.

- (2단계 ~`27) 100 kW이상의 연료전지 발전 플랜트 단가 1,500 €/kW 목표와 0.3~5 kW이내의 소형 연료전지 3,500 €/kW 목표

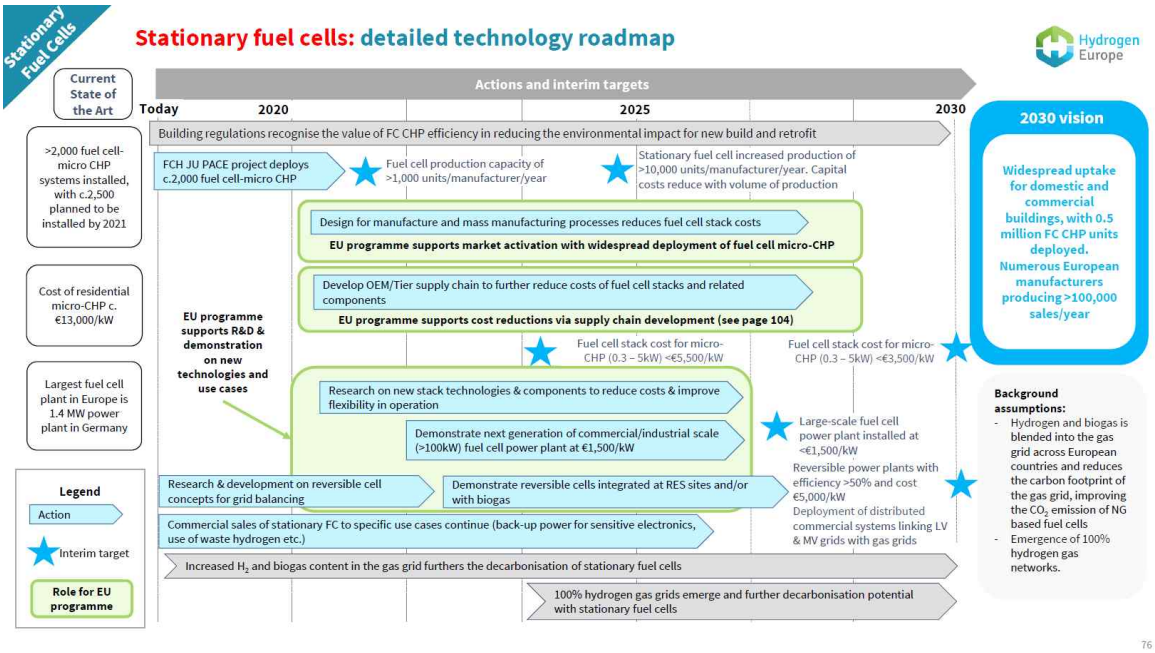


그림 2.106. 유럽 연료전지 기술 로드맵
(Hydrogen Technolgy Roadmaps Full pack, Hydorgen Europe, 2019)

□ 유럽의 수소사회 로드맵

○ 유럽에서의 수소는 파리 협약 이행을 위한 탄조저감을 목적으로 하는 에너지 전환의 패러다임으로서 설명하고 있음.

- 수소로의 전환에 대한 확신을 3가지 관점에서 주장하고 있음
  · 교통, 산업, 빌딩 등에서 탈탄소 면에서 가능한 가장 우수한 선택
  · 신재생에너지의 전환에 의해 시간적, 공간적인 면에서 가장 우수하게 활용할 수 있는 것이 수소
  · 수소가 탈탄소에너지 중에서 고객의 만족도를 높일 수 있는 최적의 수단
- 결국 신재생에너지 활용을 위한 수단적인 의미로서 수소 역할을 규정하고 있으며, 신재생에너지의 시간적· 공간적 제한을 수소로서 극복하는 목적을 가지고 있음

○ **(목표)** `50년까지 유럽내 총 에너지 사용량의 24%를 수소로 대체 혹은 2,250 TWH의 에너지 생산이 목표이며, 그림 2.107에 나타나 있음

- `30년 기준으로 수소 에너지 대체율을 최대 6%까지 대체
- `50년 기준으로 수소 에너지 대체율을 최대 24%까지 대체
- 새로운 수소 산업 분야로 기존 수소 원료 산업외 “새로운 수소 원료 산업”, “산업 에너지 대체”, “건물용 에너지 대체”, “수소 교통”등으로 규정하였으며, 그중 핵심을 건물용 에너지지와 수소 교통에 두고 있음
- 이를 통한 CO_2저감 560 Mton, 연간 시장 창출 82백억 유로, NOx 15% 절감 일자리 창출 5.4백만개 창출

○ **(수소교통)** `30년 기준 370만대의 승용차, 50만대의 경 상용차, 45,000대의 트럭과 버스, 570대의 연료전지 열차 등을 보급 목표로 설정

- 이에 따른 충전소 보급을 `25년 1,500개소, `30년 3,700개소, `35년 8,500개소, `40년 15,000개소를 보급목표로 설정하고 `40년까지 275억 € 투자

○ **(빌딩용 수소에너지)** `30년 기준 천연가스의 7% 대체, `40년 기준 32% 대체를 목표로 함

- `독일, 영국, 네덜란드, 프랑스, 덴마크를 중심으로 천연가스 그리드내 7.5%까지 수소를 혼합하여 공급하고, 다섯 개의 인구 300,000 명 이내 도시를 순수 수소로 대체

○ **(산업계와 발전시스템)** `30년 기준 산업계 활용 수소를 탈탄소 수소로 전체 1/3을 대체하고, 대형 수소 발전을 실증

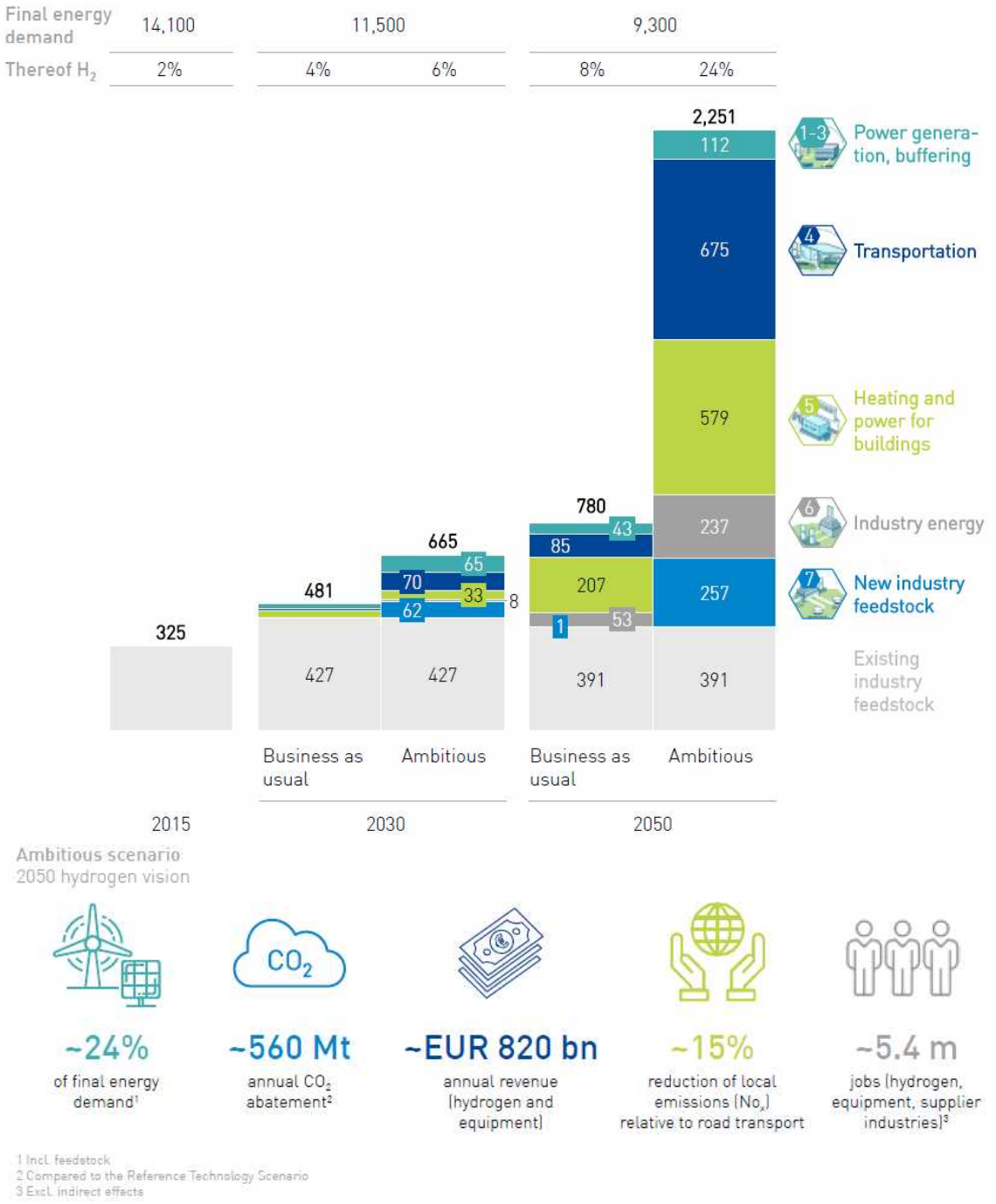


그림 2.107. 유럽의 수소 에너지 로드맵 상의 목표
(Hydrogen Roadmap Europe, a sustainable pathway for the european energy transition, 2019)

○ **(목표달성을 위한 기술개발)** 그림 2.108에서와 같이 교통, 발전, 산업용 등에 필요로 하는 기술 분야에 대한 기술개발 로드맵을 제시하였음.

- 수소교통은 수소 버스를 최초로 상용화하며, 승용차와 지게차, 트램, 지하철을 `25년까지 상용화하며, 트럭, 배 비행기 등을 개발하는 순으로 정리
- 연료전지에 의한 발전을 `30년으로 목표로 제시하고 있음

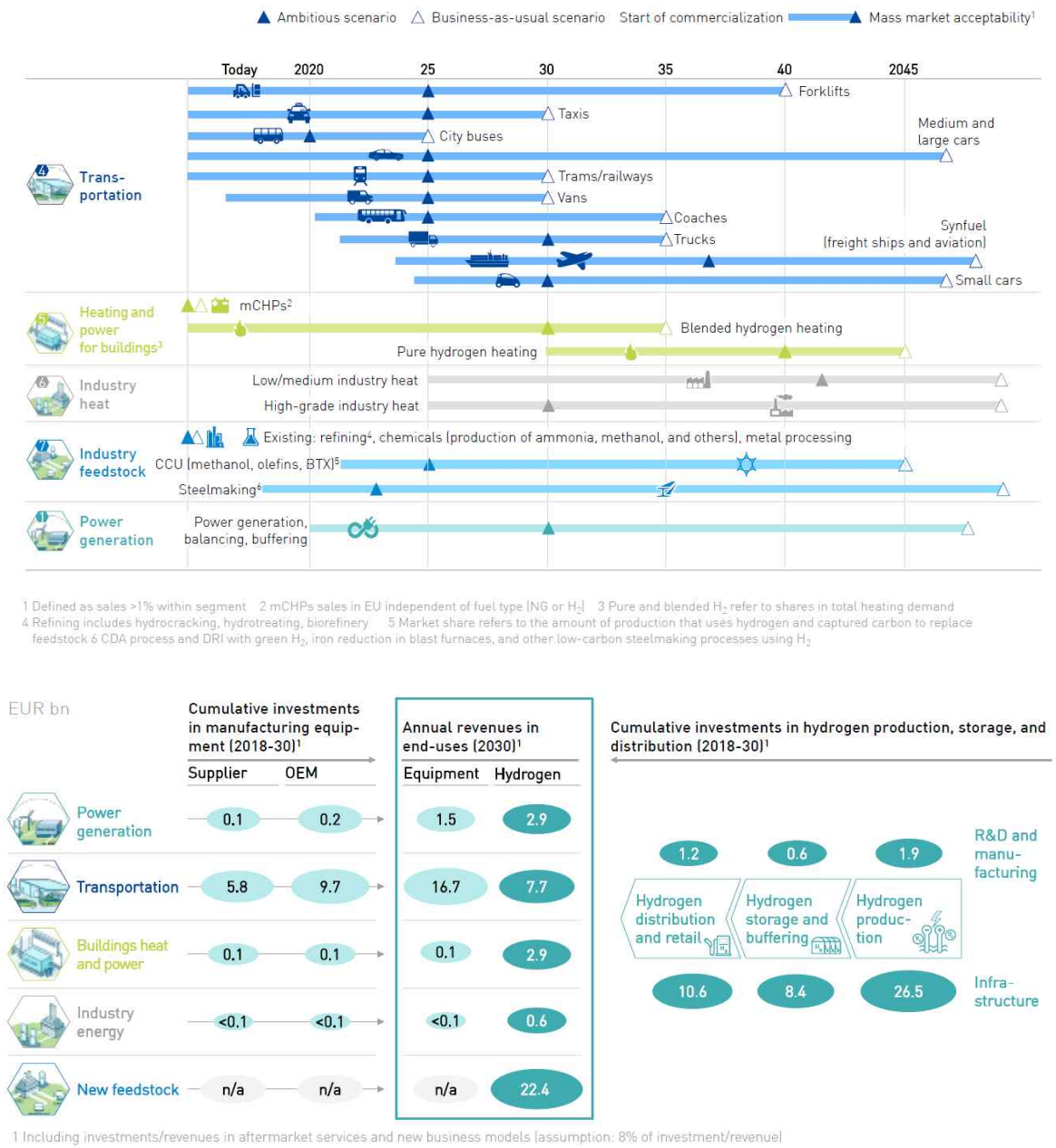


그림 2.108. 유럽의 수소 에너지 로드맵 상의 기술 개발 일정 및 투자금액
(Hydrogen Roadmap Europe, a sustainable pathway for the european energy transition, 2019)

□ EU 로드맵 시사점 및 PESTLE 분석

○ EU의 목표는 파리 협정에 따른 CO_2 저감에 대하여 초점이 맞추어져 있으며, 이러한 정책 일환으로서 에너지 전환 정책의 방향성을 수소에 맞춤

- 유럽에서 수소 도입은 일본, 미국에 비해 늦게 시작이 되어 수소 로드맵이 `19년 발표되기 이전에는 신재생에너지 정책의 일부로 인식되었음. 수소는 신재생에너지 저장과 이송을 위한 수단적으로 언급되고 있음
- 수소의 신재생에너지와의 Flexibility를 강조하고 있으며, 수전해에 대한 기술을 강조하고 있음
- 현 천연가스 기반의 사회를 활용하기 위해서 그린 수소 기반의 CH_4합성을 위한 기술 개발을 함께 진행

○ `40년 목표로서 장기적인 비전을 제시하고 그것에 따른 기술개발 로드맵을 제시함

- 수소교통의 확대와 건물의 에너지 대체 목표가 전체 에너지 대체의 55.3%에 이를 만큼 초점을 맞추어 진행함
- 수소교통 중에서 승용차에만 초점을 맞춘 것이 아닌 선박, 철도, 비행기 등의 모든 교통수단에 활용하도록 정리
- 모든 국가와 다르게 1차 적용 교통수단은 공공 버스로부터 시작
- `25년 이전까지 기술의 경쟁력 확보에 초점을 맞추어 기술적 분류가 아닌 경제성 확보 기술 우선 적용 로드맵을 제시함
- 예외적으로 생산에 대해서는 수전해에 초점을 맞추는데, 이는 CO_2 저감이 수소경제 도입의 모티브이므로 이에 따라 화석연료 기반 수소를 최대한 배제하기 때문임
- 유럽 전역을 관통하는 천연가스 배급망을 활용할 수 있는 기술을 개발하여 이송 비용을 최소화하고 있으며, 도시규모에 따라 순수 수소 공급 기술에 대해 별도로 계획

○ 미국과 마찬가지로 전체 기술개발 로드맵이 경제성 확보에 초점이 맞추어져 있으나, 차이점은 파리협약 준수를 위한 강한 정치적 모티브를 확보한 것임

- 국내 상황이 유사하기 때문에 수소경제 도입의 배경이 CO_2 저감임을 염두에 두고 확대하는 것이 유리할 것으로 판단

○ 장기적인 비전과 목표에 의해 추진되며 현재 경제성 확보가 되지 않은 상황에서 수소 경제를 성급하게 도입하지 않고 지속적으로 확대하는 로드맵 설정

- 본격적인 시작은 `25년-`30년 내외이며, 수소 교통의 적용성이 이 시기에 완성됨.
- 단기 목표는 시티버스 (공공버스)의 도입에 의해 20년 이후 시작되며, `25년까지 R&D위주의 기술개발과 실증을 우선 추진

○ 장기적인 비전과 목표 추진 방식을 벤치마킹 할 필요가 있으며, 국내 기술상, 수소승용차와 발전용 연료전지의 기술은 세계적인 수준이므로 이를 우선 보급하는 정책 위주로 할 필요가 있음

- 단기적인 부분으로 너무 많은 기술적 실증 보다는 강점이 있는 기술 분류를 통해서 실증계획 수립이 중요
- 대표적인 국내 수소 기술인 수소 자동차 분야와 연료전지 발전분야를 최우선적으로 적용성 검토를 위한 실증을 통해 수소사회 진입 가능성을 평가
- 지속성 및 기술 경쟁력 확보를 위해 분야별 국산화와 효율증대를 위한 R&D를 병행할 필요가 있음

○ **(정치적)** 파리협정 이행을 위한 CO_2 감축 목표 달성 수단으로서 정책활용

- 유럽내 독일, 영국, 프랑스, 네덜란드 등이 주축이 되어 정책적 방향성을 제시하나, 실질적인 최종 목표는 CO_2, NOx 저감 정책으로 귀결
- 신재생에너지 보급 정책의 일환으로서 수소사회 구축을 `19년 제시함

○ **(법적)** 해당 국가별로 보조금 정책이 제시됨

- 수소 자동차, 충전소 보급 등의 보조금 정책이 예산은 다르나, 대부분의 유럽 국가에서 법적으로 뒷받침 되어져 있음

○ **(사회문화적)** 국가 정책적으로 신재생에너지 보급이 1900년대 후반부터 이미 보급. 수소는 이의 일환으로서 사용될 것으로 경제성 확보시 무리없이 보급될 것으로 판단

- 1차적으로 수소연료전지 공공버스의 도입을 통해 사회적 거부감 완화를 시도하는 것으로 사료

○ **(기술적)** 기술적 분류가 아닌 경제성 확보를 위한 타겟을 설정하여 기술 개발 로드맵을 발표함

- 분야별 달성 목표 단가와 에너지 소요에 대한 효율성 등으로 제시하여 가장 경쟁력 있는 기술 적용
- 대표적으로 저장 분야를 지하저장과 지상저장 등으로 구분하여 경쟁력 확보 등을 모색하며, 유럽의 파이프라인 활용기술을 별도로 개발

○ **(경제적)** 수소 보급을 위해 투입되어야 하는 예산을 목표연도별, 기술 분야별로 명시하여 지속성을 확보함

- 시장 확대기까지 지속적인 예산 투입을 명시하고 기술개발을 위한 R&D 투자를 명시하여 강력한 예산확보 의지를 표명

○ **(환경적)** 유럽은 이미 신재생에너지 등의 보급을 통해서 청정성 확보를 1900년대 후반부터 시작함

- 따라서 그린 수소 (CO_2 프리) 확보가 가능한 기술에 대해 최우선적으로 적용하도록 로드맵이 구성됨
- 타 국가와는 달리 신재생에너지와 수전해기술의 조합에 의한 수소 생산을 핵심 생산기술로 결정하고, 바이오가스 기반 추출수소와 CCS 기술조합을 보완 생산기술로 결정하여 로드맵을 작성

그림 2.109. 유럽 수소 로드맵에 따른 PESTLE 분석결과

□ 네덜란드의 수소사회 로드맵

○ 네덜란드는 기본적으로 Hydrogen Roadmap Europe, a sustainable pathway for the european energy transition에 참여한 핵심 기술개발 국가임.

- 대표적인 기술 컨셉으로 Hystock 컨셉이 있으며, 천연가스 유전이 많은 북 네덜란드 위주로 기술 개발 로드맵이 있음
- 유럽의 국가답게 신재생에너지와 수전해 조합을 통한 수소 생산을 위주로 로드맵이 구성되어 있으며, 지하저장에 따른 각 인프라에 수소 공급 위주로 구성됨

○ 네덜란드는 TKI Gas사에 의해 발표된 Hydrogen Roadmap이 `18년 5월에 발표되었으며, 기본 프레임은 전반적으로 EU의 Hydrogen Roadmap의 내용과 유사함

- 각 분야별 기술의 개발 시기가 EU의 스케줄에 비해 5년 정도 늦어진 상태로 개발되는 로드맵을 제시
- 수전해와 SMR + CCS 기술의 생산단가 분석이 잘 정리되어 있으며, 각각 에너지와 천연가스 단가에 의해 가격 결정

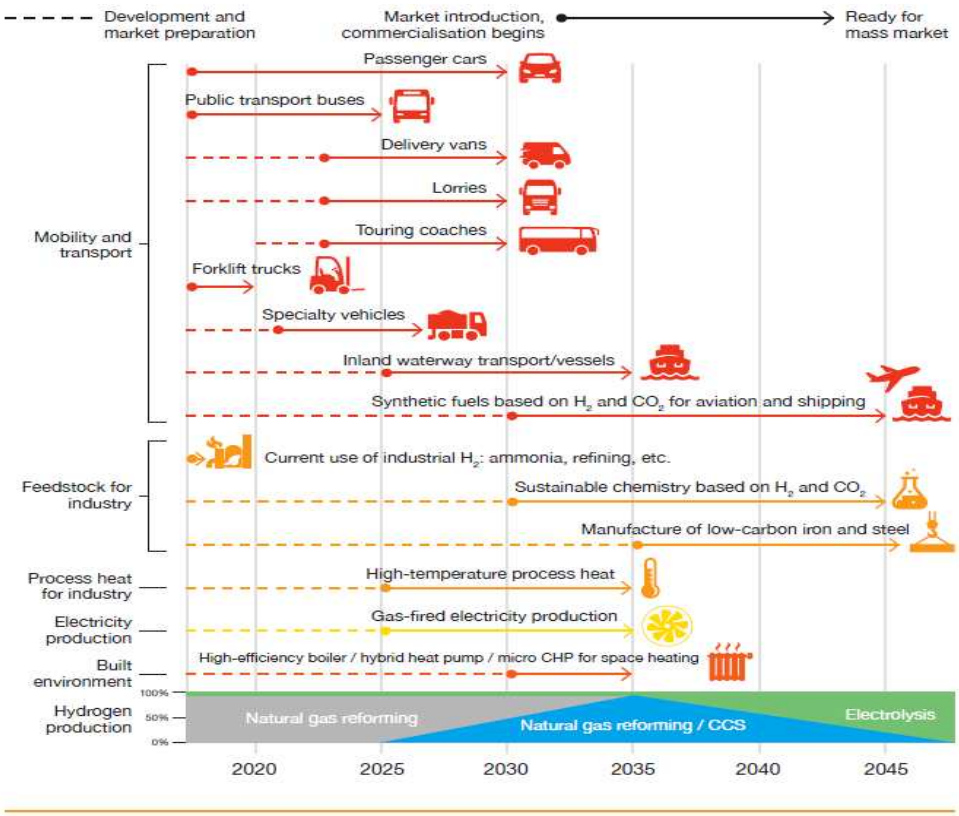


그림 2.110. 네덜란드 수소 사회 구축 action plan
(Outlines of a Hydrogen Roadmap, TKI NIEUW GAS, 2018)

- Hystock 컨셉은 Hydrogen Roadmap Europe 상의 천연가스 배관망에 수소 주입과 이를 분리하는 막기술을 개발하는 컨셉으로 Hydrogen Roadmap Europe 상에는 `30년 이후 상용화를 목표로 추진됨

○ (네덜란드) Hystock 컨셉 및 기술 로드맵

- 네덜라드에서 진행되는 대표적인 수소 관련 프로젝트가 HYGRID와 HYSTOCK 임. HYGRID는 천연가스 배관망을 통한 공급시 천연가스와 수소를 분리하는 기술 개발을 주요 골자로 하며, HYSTOCK은 수소 도시와 관련된 컨셉으로 구분될 수 있음
- 신재생에너지를 활용한 수전해시스템으로 수소 생산을 하고 소금동굴내 저장을 통해 도시내 공급이 주요 핵심 내용이 됨.
- (컨소시엄) Energystock, bblcompany, Gasunie, Vertogas, Nel사 등이 상호 조합 중에서 Gasunie(천연가스 공급사)사가 주도적으로 기술개발 실시
- (기술로드맵 연계) HYSTOCK 프로젝트는 파일럿 규모의 기술 실증 프로그램으로 북 네널란드의 2050년까지의 수소 사회 구현을 위한 기술 로드맵과 직접적으로 연계됨. 그림 2.112은 총 수소 270,000 ton 생산을 위한 가치사슬을 보여줌
- (배경) 파리 기후협약에 따른 온실가스 저감의 정책적 방향성으로 인하여 신재생에너지 활용이 필요해짐과 신재생에너지 생산단가가 화석연료 생산 전기단가에 비해 경쟁력이 확보된 상황으로 인하여 신재생에너지의 적극적 활용 가능성이 높아짐에 따라 활용방안데 대한 로드맵이 필요해짐

· 네널란드는 농업단지와 천연가스를 기반으로 경제가 구성됨. 최근에는 화학약품 산업이 급성장한 상황으로 천연가스 기반 전력, 신재생에너지 전력 특히 풍력과 태양광이 개발됨. 아울러 바이오 가스의 지속적인 생산 등이 배경이 됨
· 더 중요한 에너지 정책적 변화는 네덜란드의 에너지원인 천연가스의 고갈과 가스전 공사로 인하여 발생된 지진의 위험성으로 인한 천연가스 생산량 감소임

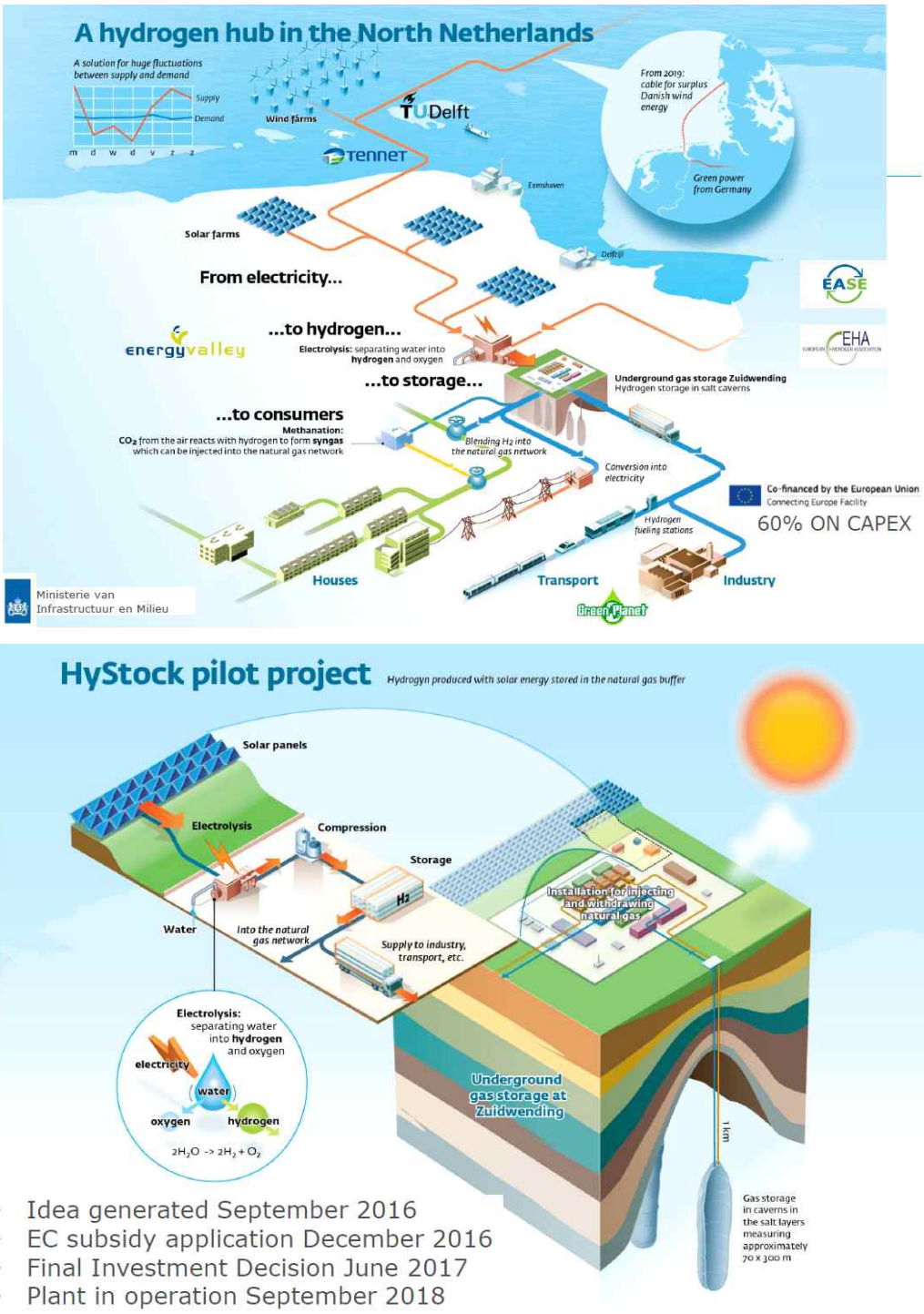


그림 2.111. 네덜란드 HYSTOCK 프로젝트 개념도
(Pluijm, R., v.d., HyStock, connecting and distributing electrons and molecules, Energystock, 2018)

- (생산) 해수를 담수화하여 순수를 제작하고 이를 바탕으로 수소를 풍력기반으로 1000 MW급으로 생산, 100여개의 태양광기반 수소 생산을 마을 단위의 공동체 지역에 설치, 그리고, 노르웨이에서 SMR기반의 수소를 일부 수입
- (활용) 화학약품 단지내 공급을 통한 그린 메탄올과 그린 암모니아를 생산하고, 주요 산업단지내 원료로서 공급. 그리고 100여개의 수소 충전소 설립
- (기간) 총 로드맵의 기간은 2017년부터 2050년까지의 수소 생산 및 활용 기술 로드맵으로 총 5개의 phase로 구성됨

· Phase 1 (`17) 프로젝트의 기본 구상시작 및 조직
· Phase 2 (`17-`18) 마스터 플랜 수립, 생산, 인프라, 시장 등에 대한 조사와 계획
· Phase 2까지가 준비단계이며, Phase 3부터 실행단계로 계획됨
· 표 2.32은 Phase 3부터 시작되는 실질적인 내용을 요약한 것임

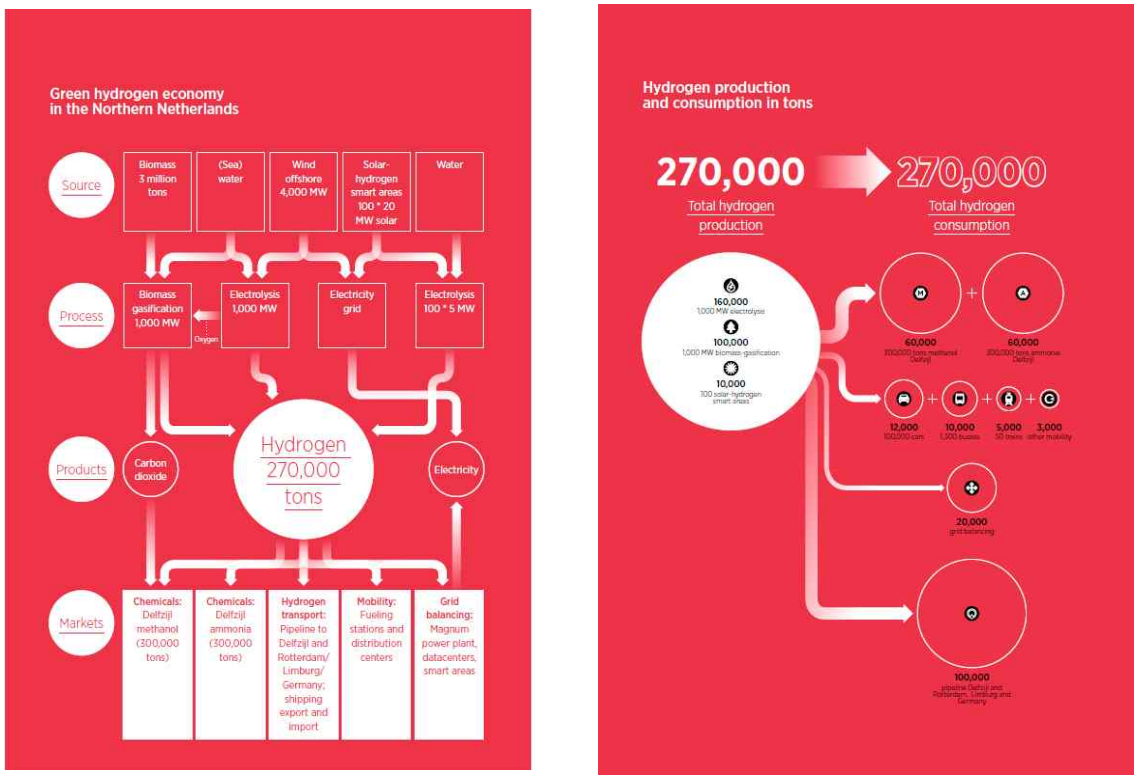


그림 2.112. 북 네덜란드 수소경제 기술 로드맵의 가치 사슬
(The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands)

표 2.32. 북네덜란드의 수소 사회구성 로드맵 주요 내용
(The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands)

	Phase 3 (`18~`23)	Phase 4 (`23~`30)	Phase 5 (`30~`50)
수소 생산	- 수전해 (1 GW)	- 수전해기술 스케일 업	스케일 업과 설비 유지관리
	- 바이오매스 가스화 (500 MW)	- 해상 수소 생산	
	- 암모니아 생산 (150 k.tons)	- 연료전지 전력 균형	
	- 풍력 (1 GW)	- 해상풍력 스케일 업	
인프라 구축	- 산업단지까지 파이프라인 설치	- 교통 인프라 확대	스케일 업과 유지관리
	- Eemshaven와 Defzijl 파이프라인	- 산업단지 파이프라인 확대	
	- 수소교통 인프라	- 수소 저장 터미널 설치	
시장 창출	- 화학약품 산업내 연료로 공급	- 전력시장내 균형조절	전력시장 균형 확대
		- 수소 저장	냉단방 시장 확대
	- 수소 교통 시장 창출	- 수소 교역확대	에너지 시장 확대

· (수소 생산) 수전해와 바이오매스 가스화를 통해 준비하며, 생산된 수소일부를 암모니아로 전환
· (인프라) 수소이송은 파이프라인을 활용하며, 수소 교통분야를 중점으로 구성됨
· (시장 생태계) 화학산업내 원료로서 수소 공급 및 수소 교통 생태계를 구성
· (수소 공급 단가 목표) 수소 생산 기술, 수전해와, 바이오매스 가스화를 통해 공급하는 수소 단가를 2.3 €/kg H2 (약 3,000원/kg), 2.2 €/kg H2 (약 2,870원/kg)을 각각 목표로 제시

○ **(시사점 도출 및 PESTLE 분석)** 북 네덜란드 로드맵은 농업국가로서 바이오 가스 생산과 천연가스 사용에 따른 사회적 기반이 명확함에 따라 수소 도입에 대한 주민 수용성이 긍정적으로 작용

- 법적, 정치적 상황은 국내와 유사함
- 네덜란드의 환경적 상황은 소금동굴 등이 풍부한 지형적 조건과 천연가스 기반 경제로 인하여 인프라가 기 갖추어진 상황인데 반해 국내는 지형적 조건이 지하저장과는 거리가 먼 상황으로 저장시설 확보를 위해 액화등의 기술기반이 필요함

- 유럽내 풍푸한 수전해 기술력과 신재생에너지 기술의 조합에 따른 경제적인 그린 수소생산이 가능하며, 풍부한 바이오가스로부터 SMR기술로 수소 생산가능한 인프라 기반으로 로드맵 구성

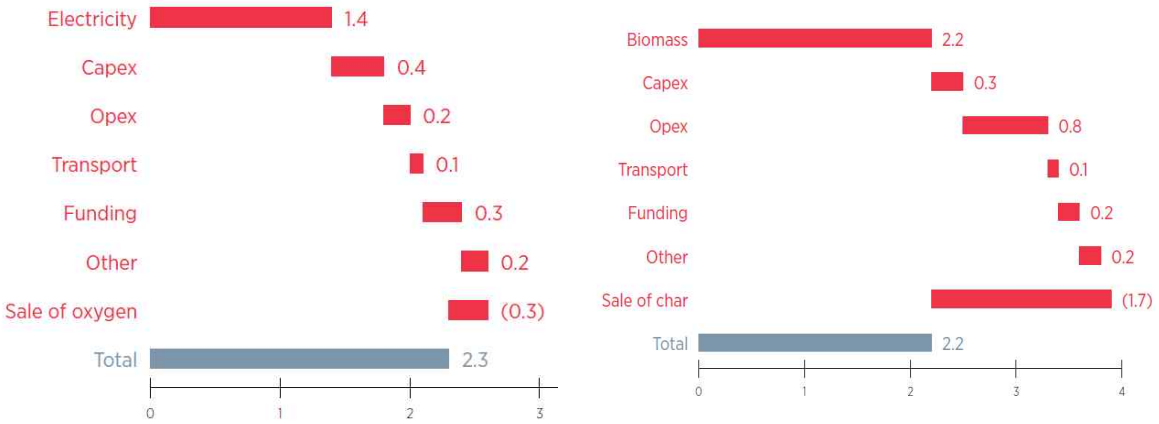


그림 2.113. 북 네덜란드 수소경제 타겟 수소 공급 단가
(The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands)

- 국내에서 그린 수소 생산은 경제적인 면에서 좋지 못하기 때문에 네덜란드내 일부 수소를 노르웨이 수입 등으로 설정함. 한국 상황상 부족한 량에 대해 수소 에너지로서 수입정책 혹은 해외 생산 정책 벤치마킹 필요
- 로드맵내 산업기반과 시장창출 전략을 벤치마킹할 필요가 있으며, 국내 상황에 맞추어 수소 교통확대 외에도 국내 산업기반을 위해 기술력 우위의 연료전지 산업 확대를 통해 수요처 확보가 중요한 전략의 포인트임
- 태양광 수소 생산은 마을 단위의 일부 보조적인 역할로 축소한 상황이 국내 상황과 유사함. 마을단위의 모델로서 구축 가능성 검토가 필요
- 국내 수소교통과 연료전지 기술은 세계적인 수준이므로 이를 활용할 수 있는 기반 마련이 시급함
- 단 국내 상황에서 최대 약점은 네덜란드와 달리 국내 수전해 등의 핵심기술 기반이 약하다는 것이며, 이에 대한 기술 확보가 최대한 중점이 되어야 함

○ **(정치적)** 파리협정 이행을 위한 CO_2 감축 목표 달성 수단으로서 정책활용과 천연가스 유전내 빈번한 지진 발생 및 위성성으로 인한 천연가스 발굴 저감

- 네덜란드내 천연가스 유전내 지진발생으로 인하여 채굴 중지 혹은 감소가 법적으로 명시됨에 따라 새로운 에너지원 발굴이 필요하게 됨

○ **(법적)** 지진 위험에 따른 천연가스 생산 저감을 법적으로 명시하였으며, 온실가스 저감이 법적 구속력이 있는 것으로 해석

○ **(사회문화적)** 국가 차원의 수소교통의 확대요구를 민간으로부터 지속적으로 받아오는 상황이며, 농업국가로서 바이오 가스의 활용 방안 확대가 필요하였음

– 네덜란드의 사회 문화적 특성상 농업국가이며, 이때 발생되는 바이오 가스의 활용처로서 수소를 활용하는 방안이 지속적으로 확대되고 있음

○ **(기술적)** 주변 덴마크 등의 신재생에너지 – 풍력 에너지 공급이 용이하며, 비교적 최근 신재생에너지 단가가 경쟁력 있도록 저감되었음

– 따라서 그린 수소 기반 천연가스 생산 기반이 충분히 갖추어져 있는 것으로 판단하고 진행함

○ **(경제적)** 바이오 가스를 활용한 수소의 수요처로서 화학약품 산업이 급격하게 성장한 상황으로 일자리 창출의 가능성이 높은 것으로 평가함

○ **(환경적)** 네덜란드내 풍부한 소금동굴을 이용하면 저렴한 수소 저장이 가능하며, 또한 주변 바다로 인하여 해수담수화를 통한 수원확보를 통해 비교적 순도높은 수소 생산이 가능한 환경적 기반 조성

– 따라서 풍력기반과 해수담수기반을 조합한 수전해 수소 기술을 확대가 가능

그림 2.114. 북 네덜란드 로드맵의 PESTLE 분석과 한국의 키워드 도출

□ 영국의 수소사회 로드맵

○ E4tech를 통해서 영국의 수소와 연료전지 관련한 로드맵을 설정하였으며, 총 3단계로 구분하여 로드맵을 정리함.

- CO_2 저감이나 혹은 기후변화 대비 등에 중점을 두기 보다는 수소가 미래 사회의 주력 에너지로 활용될 것을 사전 대비 차원에서 기술 개발해야 함을 강조
  · `1800년대 이미 연료전지 등에 대한 연구가 시작된 강정을 가지고, 자국내 이익이 발생할 것에 대해 강조하고 있음
  · 이후 청정에너지로서의 수소를 강조함
  ***수소의 역할이 탈탄소와 에너지 저장으로서 장점을 부각하여 미래 에너지가 될 것임을 강조**
- (`16~`20 1단계) 시스템 변동을 위한 준비기간으로 정책, 연구개발, 실증등을 통해 수소 사회 구축을 위한 토대 마련 및 방향성 결정 단계
- (`20~`25 2단계) 건물 등의 수소 시스템 적용과 수소 교통분야에 대한 연료전지 등의 수소 시스템 등의 적용성 평가 기간
- (`25~ 3단계) 기존 가스 그리드, 빌딩, 교통 그리고 산업까지 수소 시스템을 확장

○ 생산, 분배 서비스의 공급체계 1분야와 응용 등의 사용자 활용 2분야로 구분하고 1분야에 4개 2분야에 7개 등 총 11개의 섹터로 구분하여 각각에 적합한 미니 로드맵을 구성하여 정리함

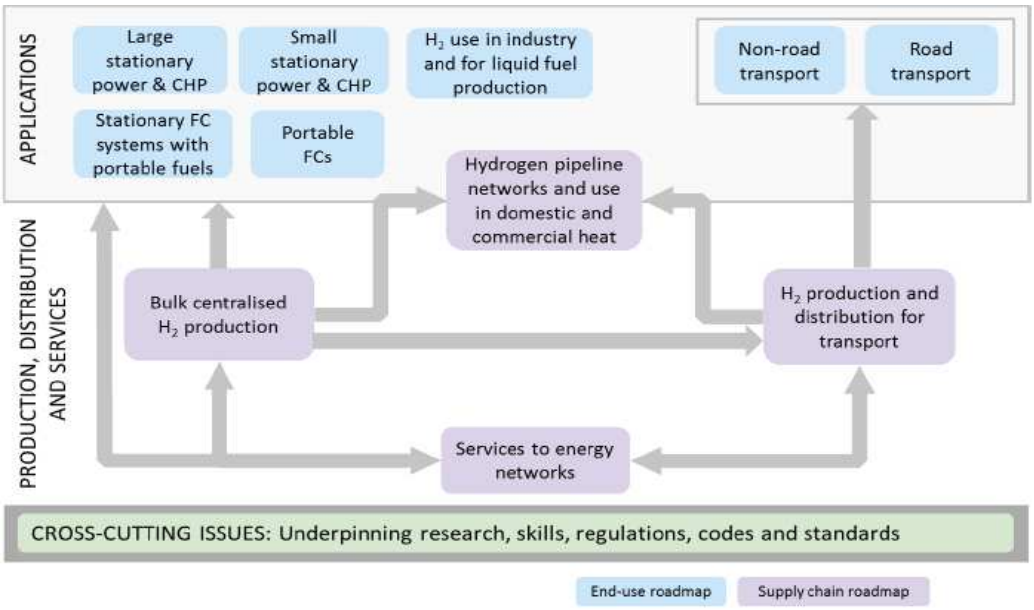


그림 2.115. 영국 로드맵의 분야별 정리
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

○ 전체 로드맵 구성은 생산과 이송 분배를 1개의 주제로 구성하고, 교통, 발전, 포터블 분야로 구분하여 세부 로드맵을 작성함

○ **(기본 인프라)** CCS를 결합한 SMR과 수전해 기술을 중심으로 수소를 생산하고, 파이프라인을 통한 이송을 핵심으로 기술 개발하는 방향으로 로드맵 구성

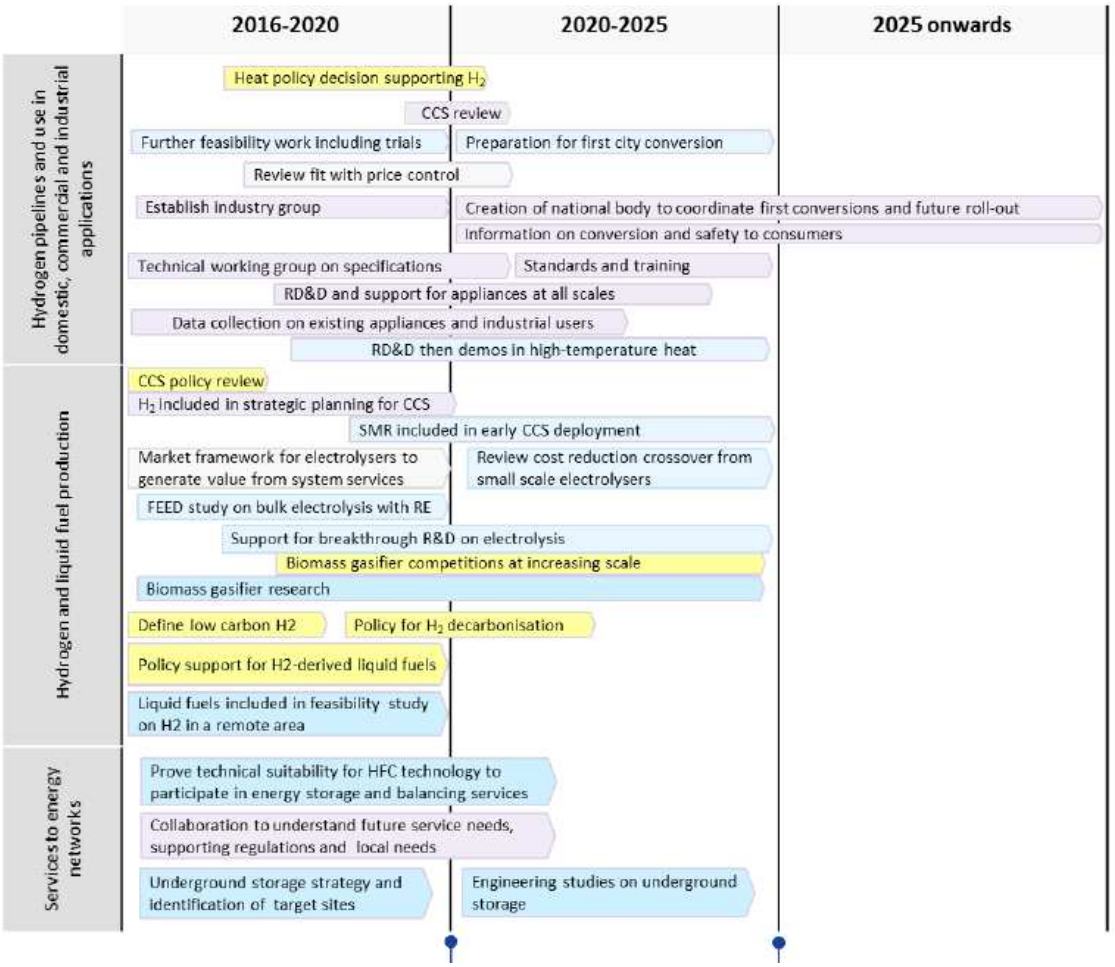


그림 2.116. 영국 인프라 분야 로드맵
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

- 파이프 라인 전환을 위해 보조금 정책과 연계할 것으로 명시하였으며, 이에 대한 타당성 검토를 위한 “H21”리즈시티 게이트 프로젝트를 발주함
- 전반적인 계획안이 `25년 이후 실행하도록 계획되어 있으며, 100 % 수소전환 및 천연가스와의 혼합 등에 대해 검토
- 수전해 수소 기반의 신재생에너지 전환에 대해서 애버딘 시를 기준으로 실증 프로그램이 진행중에 있음

- 수소의 저장은 소금동굴과 지하대수층 등의 지하 대형 저장에 기반으로 계획
- 유럽내 다른 국가와는 다르게 메인 수소 생산을 천연가스 추출에 기반을 두고 있으며, 여러 목적중 하나인 CO_2 저감을 위해서 CCS 기술의 완성도를 고려함
  *** 실질적으로 CO_2 운소 및 저장기술이 현실화된 경우를 상정하여 로드맵을 작성**
- CCS 완성도가 낮을 경우 신재생에너지의 전환 방식을 옵션으로 고려함. 따라서 단기적으로 수소체계 구축을 명시하고 중기적으로 탈탄소 전략을 추진함

○ **(수소 교통)** 수소 교통의 중요성을 대기질 정화와 탈탄소 측면에서 강조

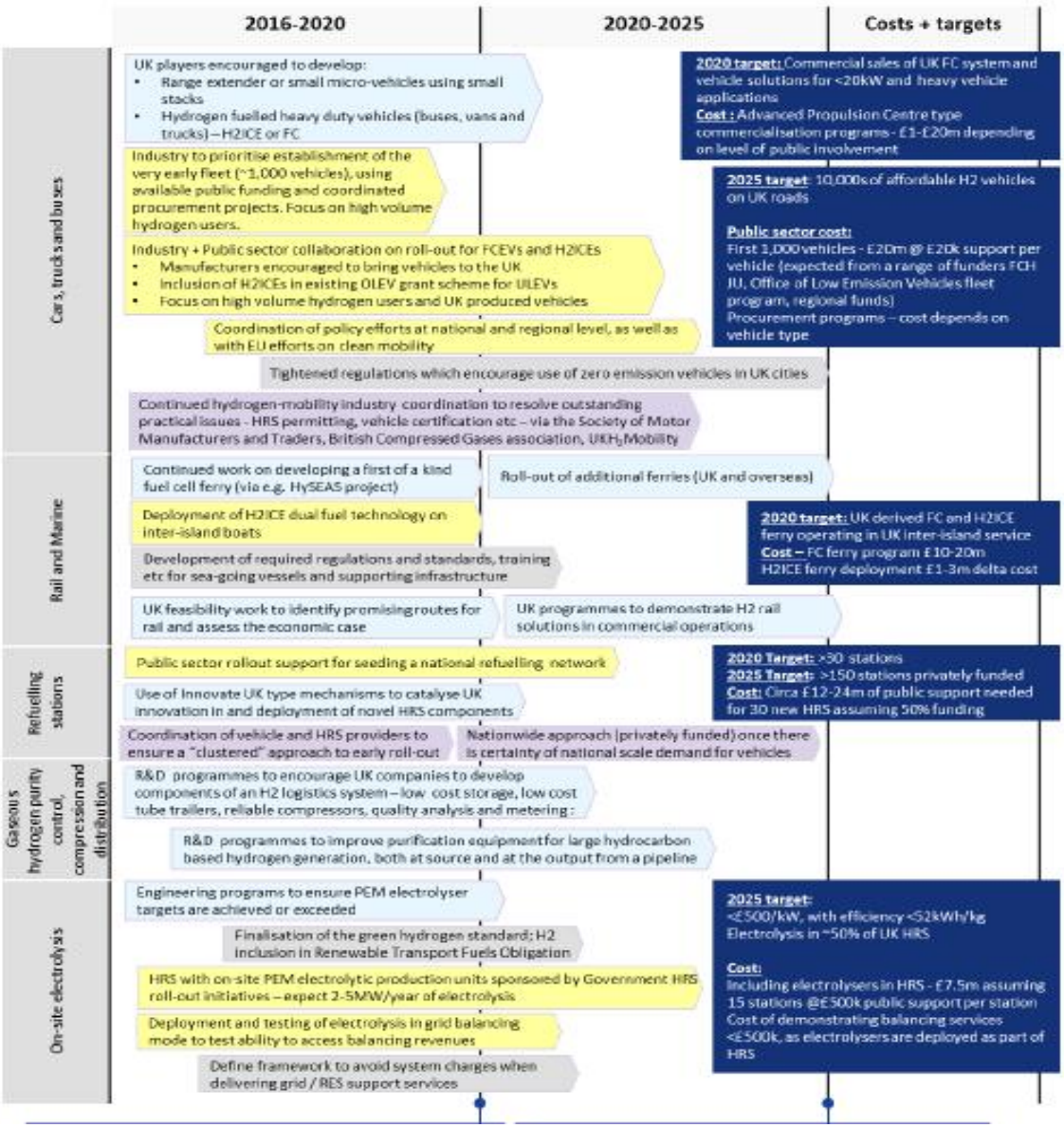


그림 2.117. 영국 수소 교통 로드맵의 분야별 정리
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

- **(목표)** 100~1000 대/년을 목표로 생산체계 구축을 통한 `25년 10,000 대 보급과 `50년 기준 전체 차량의 30% 대체 그리고 `20년까지 10개의 수소충전소를 건설 (개소당 400 대)

  *** 1개의 수소 충전소당 500,000~800,000£ (약 758,770천원 ~ 1,214,032천원)의 보조금 지급과 200만£ (3,035,080천원)을 50~100대의 FCEV에 보조금으로 책정**

- 핵심적인 수소승용차외적으로 버스, 트럭과 스코틀랜드 중심의 해양 선박 등에 대한 기술적 로드맵도 제시함

- 충전를 위한 수소 공급은 초기 단계에서 수전해 기술에 의한 현장용 수소생산과 부생수소를, 그리고 장기적으로 바이오매스 전환과 CCS+SMR에 의한 수소 공급체계로 중앙집중식 수소 생산을 고려함. 추가로 장기적인 관점에서 혼합 관망에 의한 보급은 수소를 분리할 수 있는 고도의 기술 개발이 요구됨

○ **(건물용 연료전지)** 현단계에서 천연가스 발전과 유사한 효율 발생이 가능하나, 현장에서 사용할 수 있으므로 전력 효율성 증대가 가능함

- (목표) 10년 이상의 내구성과 전체 효율 45% 이상 그리고 가격 < 5,000£ (약 760만원)

- 실증 프로그램을 위해 1,000,000~5,000,000 £ (약 1,517,290~7,586,450 천원)의 규모로 몇몇 건물의 전력과 열을 공급하도록 추진

- `16년 총 3.6 MW, 3,600개의 연료전지를 보급, `25년까지 10,000,000대 보급 추진과 100MW 발전용 연료전지 도입 추진

- 장기적으로 수소 파이프라인과 연료전지 연계 시스템 구축을 목표로 추진하여 `20년까지 방향성을 결정

○ **(수소 교통 분야)** E4tech의 로드맵이 아닌 elementenergy에 의해 조금 더 자세하게 만들어진 친환경 교통 로드맵에 따르면, 수소 충전소 `20년 기준 65개 그리고 `30년까지 약 1,100개의 충전소를 건설하도록 계획되어 있음. 특히 각 자동차 종류별로 `50년까지 추구하는 개별 목표 대수가 결정되어 있음

- 이 로드맵에서 추구하는 전기 승용차의 목표는 `30년까지 기준으로 400만~800만대를 기준으로 하고 있는데 반해 수소 승용차는 68만대~140만대 규모로 시장이 약 1/4 수준에 불과함.

- 이는 미국 캘리포니아 로드맵 상에서 계획한 전기승용차와 수소승용차 시장과 유사한 수준으로 평가될 수 있음

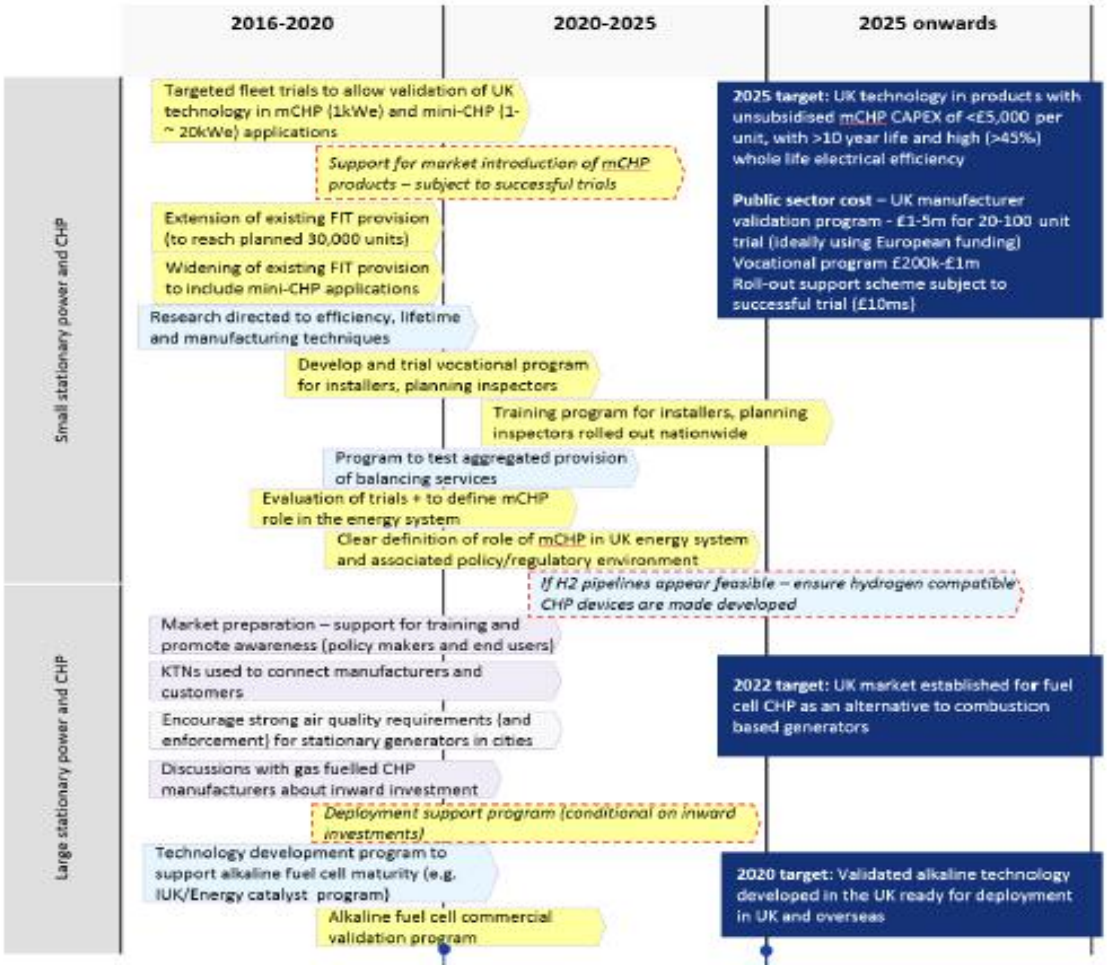


그림 2.118. 영국 연료전지 로드맵
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

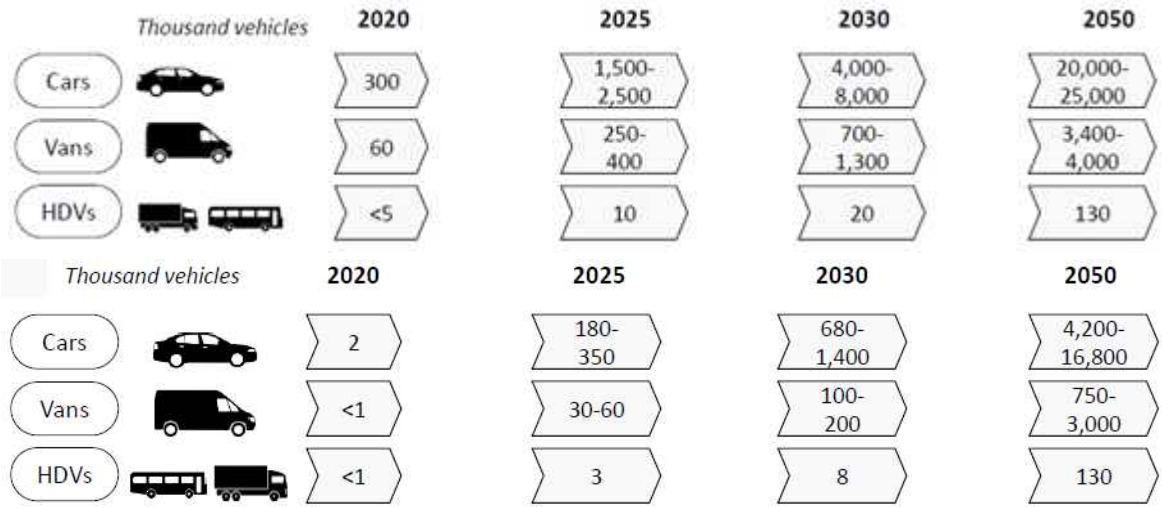


그림 2.119. 영국 로드맵 상 전기차 생산과 수소차 생산 목표 비교 (위:전기차, 아래 수소차)
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

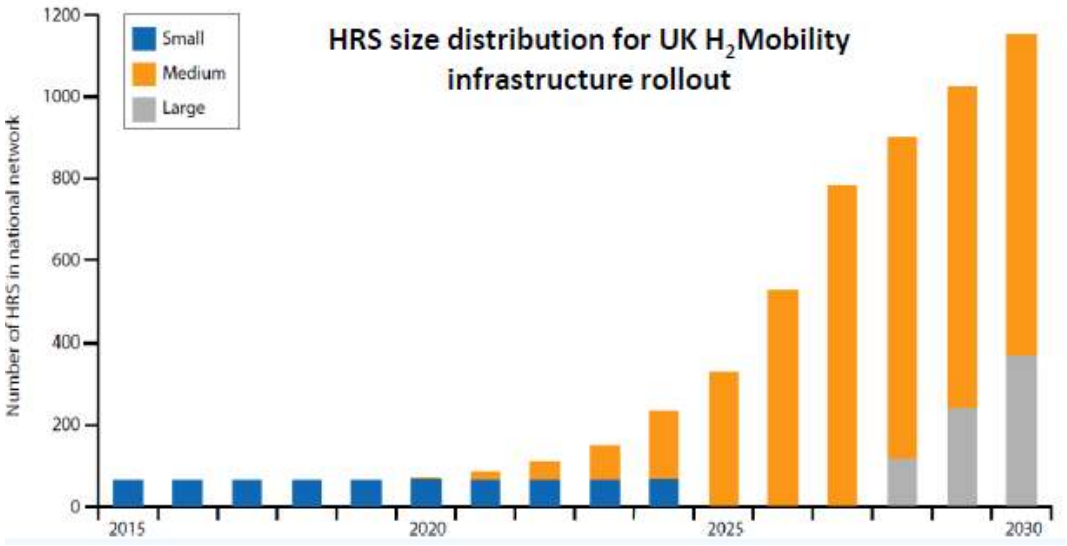


그림 2.120. 영국 충전소 보급 목표
(Hydrogen and Fuel Cells: Opprtunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech & elementenergy, 2016)

○ **(시사점 도출 및 PESTLE 분석)** 영국의 수소 사회 로드맵에서도 수소 교통에 초점을 맞추고 가정용 혹은 건물용 연료전지 보급에 대해 중점을 두고 정리함

- 전체 추구하는 목표가 영국의 강점 분야인 연료전지와 자동차 산업에 대해 기반을 두고 로드맵을 구축함

- 경제성 확보를 위해 수소의 생산을 타 유럽 국가와는 다른 SMR에 의한 것을 1차적으로 고려하되, CCS의 결합을 추구하고 있음
  · CCS의 경제성이 확보되지 못할 경우 신재생에너지 혹은 바이오 매스 기반 수소를 고려하여 추진하도록 계획됨
  · 천연가스 공급라인의 확보를 위해 추가적인 연구를 하고 있으며, 저장 방식도 지형적으로 풍부한 소금 동굴을 이용하는 방안에 대해 feasibility test를 실시함 (리드 시티 게이트 프로젝트 H21)
  · 천연가스 공급라인 이용시 별도로 혼합 공급을 고려하고 있어 네덜란드에서 시행중인 Hystock 결과에 따른 성과를 주목

- 수전해 수소의 실용성을 확인하기 위해 풍력에너지지가 풍부한 애버딘 시를 통해 실증 실험을 실시

- 수소 교통의 장기적인 목표가 `30년 기준 최대 140만대까지 FCEV도입 임. 이에 비해 전기차량은 800만대도입이 목표이므로 시장 규모 차이를 4배 정도 두고 있음.
  · 현재 전망 자체가 전기차 시장이 크다는 것을 의미함

- 가정용 연료전지에 대한 목표가 높으며, 이는 일본의 시장과 비교할 수 있는 규모임

○ **(정치적)** 수소의 미래 에너지로서 가치를 평가하여 보조금 등의 정책을 추진하고, 소규모 도시 등을 중심 실증

- 타 국가와 다르게 일자리 창출과 시장 확대를 중시하고 온실가스 저감을 다음 가치로 평가하고 있음
- 1800년대부터 시작된 연료전지에 대한 보급 정책이 활발

○ **(법적)** 보조금 정책 추진과 수소 인프라 구축

○ **(사회문화적)** 천연가스 사용이 일상화되어 로드맵이 천연가스 활용에 초점이 맞추어져 있음

○ **(기술적)** 경제성 확보를 위해 SMR을 통한 수소 생산과 발생 CO2의 제거를 위한 포집, 이송기술 개발

- 천연가스 보급 망에 대한 활용을 위한 수소 분리기술을 강조
- 가정용 소형 연료전지 보급 로드맵과 수소자동차 전분야에 대한 기술로드맵
- 섬지역의 풍력에너지의 수소 전환에 따른 섬지역 공급 실증

○ **(경제적)** 자동차와 연료전지에 대한 사업에 대한 강점으로 일자리 창출과 세계 수소 경제 중심을 비전으로 제시

- 천연가스 중심의 영국의 에너지를 수소로 활용하기 위해 SMR과 CCS의 경제적인 수소 공급 방안 우선 추진
- 천연가스 파이프라인 활용에 대한 로드맵 우선

○ **(환경적)** 영국내 섬지역을 중심으로 풍력에너지원 공급과 풍부한 소금 동굴을 활용하여 저장

그림 2.121. 영국 로드맵의 PESTLE 분석

3. 일본

□ 일본의 수소사회 구축 로드맵의 최종 목표

○ (기본 인프라) 저비용 수소 공급체계 구축

- 갈탄 활용 등의 대량 수소 수입 (30만 ton/d)을 통한 수소 공급비용 30엔/Nm^3
- 국제 수소 생산, 공급망 개발을 통하여 `30년 이후 수소 공급비용 20엔/Nm^3까지 저감
- 수소 이송을 위한 액화/액상 기술개발, 수소공급 파이프 라인망 구축 (`30년 이후), P2G 기술, 지역수소 사회화 (지역 미개발 자원 활용),

○ (발전) 수소 공급 확대를 통해 `30년 이후 수소 발전 도입

- `20년이후 천연가스 혹은 석탄화력과 수소 혼합 발전
- `30년이후 수소 발전 상용화

○ (교통) 친환경 수소 차 확대

- `30년 기준 수소 자동차 80만대 도입

○ (기타) 산업부분 CCS 전면도입과 그린수소 확대, 연료전지 기술 개발 촉진 및 경제성 확보 (PEFC, SOFC 중심), 혁신기술 개발 그리고 국제 표준화 주도

○ (재정 투입) `18년 419.8억엔, `19년 595.9억엔 투입 계획임
· 그림 120은 수소기본전략을 요약 정리해 놓은 것임

			현재	2020년	2030년	2050년
공급			화석연료에 의한 수소 (부생수소, 천연가스 및 LPG 개질)		• 국제 수소 공급체인 구축 • 일본내 재생에너지에 의한 수소제조기술 확립	CO2 free 수소 (갈탄×CCS, 재생에너지활용)
수소량			200톤/년	4,000톤/년	300,000톤/년	1,000만톤/년+α
수소가격			~100엔/Nm3	→	30엔/Nm3	20엔/Nm3
이용	발전				17엔/kWh	12엔/kWh
	수송	충전소	100개소	160개소	900개소	
		수소 전기차	2,000대	40,000대	800,000대	
		수소 전기버스	2대	100대	1,200대	
		수소전기 지게차	40대	500대	10,000대	
	가정용연료전지 (에네팜)		220,000대		530,000대	

그림 2.122. 일본 수소기본전략 요약, 월간 수소경제, 2018

□ 일본의 수소기술개발 로드맵

○ 수소사회의 구축을 목표로 로드맵을 수립하여 진행하며, 전세계에서 가장 활발한 가정용 연료전지 보급에 대한 전략 수립과 성과를 나타냄

– 유럽, 미국과 다르게 연료전지에 대한 보급에 대해 전략로드맵 상세하게 구축되어 있으며, 수소교통 등과 비교적 동등한 기술력 등을 보유

– (연료전지) “에너팜”으로 대변되는 가정용 분산전원 활정화 전략
· (목표) `30년 기준 530만 가구에 도입 (일본 전세대의 10%)
*** `18년 기준 25만대 보급**

– (에너팜) 수소용 연료전지 시스템의 브랜드명으로 `08년 일본의 가스공급업체, 연료전지업체, 주택업체의 3개 관련 기관들이 모여 만든 브랜드임
· `05~`10년까지 일본전역을 대상으로 실증사업을 실시하여 신뢰를 구축
· PEFC 3,307대, SOFC 233대를 일본전역에 공급하여 실증사업을 구축하였으며, 연료로서 수소가 아닌, LPG, 메탄, 등유를 공급

제조사	LPG	메탄 (CH_4)	등유	합계
ENEOS Celltech	1,062	191	0	1,253
Ebara Ballard	0	396	314	710
Toshiba FCP	552	196	0	748
파나소닉	0	520	0	520
Toyota	0	76	0	76
합계	1,614	1,379	314	3,307

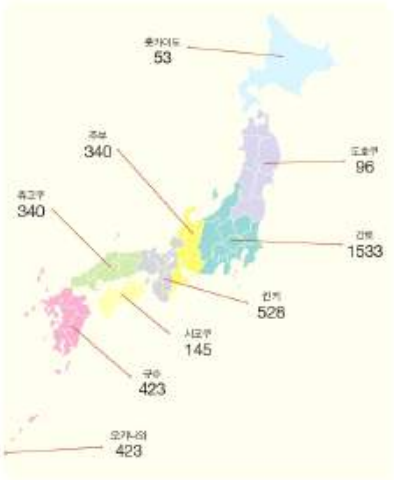
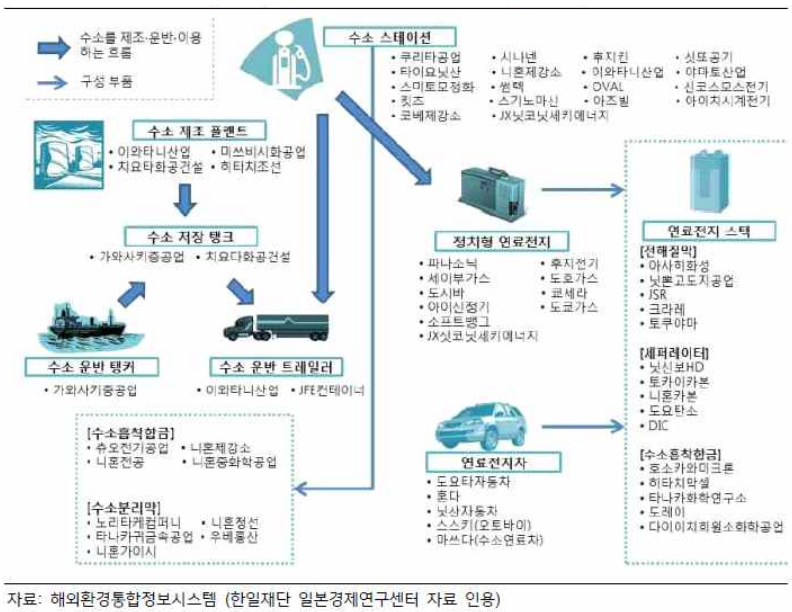


그림 2.123. 에너팜 공급 현황
(손범석, 일본의 수소사회 구축에 대한 분석 및 시사점, 녹색기술 이슈 분석 리포트, 2016)

○ 수소 교통에 대한 민간에서 수소 자동차 핵심 기술 확보 후 `11년 민간 주도의 성명 발표를 통해 본격 산업 진출 추진

– (참여업체) 토요타, 혼다, 닛산, JX닛코에너지, 이데미츠, 쇼와쉘 석유, 코스모석유, 도쿄가스, 오사카가스, 토호가스, 세이부가스, 이와타니산업, 타이요닛산 등의 자동차 제조업체 뿐만아니라 가스 회사 증의 연합체로 구성



자료: 해외환경통합정보시스템 (한일재단 일본경제연구센터 자료 인용)

그림 2.124. 일본의 수소 사회 관련 기업의 구조
(세계 최초로 수소에너지 사회를 추진하는 일본, KB 지식비타민, KB 금융지주 경영연구소, 2018)

- (수소 교통) 혼다와 도요타의 기술력 전세계 1위를 기반으로 국내 현대자동차와 경쟁
  · (목표) `30년 기준 80대 보급 목표
  *** `18년 기준 2,926대, 103개소의 수소충전소 설치**

○ 수소·연료전지 전략 로드맵

- `14.06년 1차 수소·연료전지 전략 로드맵를 발표하고, `19.03 5차 에너지 기본계획에 맞추어 새로운 2차 수소·연료전지 전략 로드맵을 발표함
- 1차는 4차 에너지 기본계획을 2차는 5차 에너지 기본계획을 바탕으로 발표
- 에너지 기본계획 실현방안에 대하여 정리된 로드맵으로 수소를 일상생활과 산업활동 전반에 활용간으한 에너지원으로 규정
- **(`14년 1차 로드맵)** 총 3단계로 구현하는 전략적 수소 사회 실현 방안을 제시하며, 이를 실현하기 위한 제도정비와 관련 인프라에 대한 핵심적 전략을 명시함. 표 2.33은 이러한 내용을 전반적으로 요약 정리한 내용임
  · (1단계, 수소 이용의 확대) 연료전지 도입을 핵심으로으로 가정용과 연료전지차의 상용화에 초점
  · (2단계, 수소 발전 도입) 대규모 수소공급시스템 확립과 이를 통한 발전사업 확대를 주요골자로 수소가격 30엔/Nm^3 목표제시와 해외 수소 수입 명시
  · (3단계, CO_2 Free 수소공급시스템 확립) `40년대를 목표로 CCS 기술 조합 혹은 CO_2 Free 수소 제조, 수송 저장 본격화

표 2.33. `14년 1차 연료전지 로드맵에 대한 요약 (이상현, 수소 자동차 개발동향, IBK 투자증권, 2018)

1단계 (~`20년)	2단계 (~`40년)	3단계 (`40년 이후)
수소이용 확대 (연료전지, 자동차 보급)	수소연료전지 발전과 대규모 수소 공급체계 구축	CO_2 프리 수소 공급 시스템 구축
– (`09년) 가정용 연료전지 도입 – (`14년) 수소자동차 시장 도입 – (`17년) 업무산업용 연료전지의 시장 투입	– 개발 실증의 가속화 – 호주 등과 전략적 협력관계 구축 – 수요확대를 위한 수소 가격	수소공급체계의 구축 전망을 바탕으로 한 계획적 개발 및 실증
– (`20년) 하이브리드 자동차 연료와 동등한 수소 가격실현 – 수소차 20만대, 충전소 320개	– (`20년 후반) 해외 수소 수입 – 수소 수입단가 `30엔/Nm^3	
– `25년 수소자동차의 가격 경쟁력 확보 – (`30년) 수소차 80만대	– (`30년) 해외 미이용에너지 사용 수소 제조, 저장, 수송 – 발전용 수소발전 본격 투입	(`40년) CCS 및 국내외 재생에너지 활용과 조합에 의한 CO_2 프리 수소의 제조, 저장, 운송

- **(`19년 2차 로드맵)** 각 기술적 항목별로 구체적 목표를 제시였으나, 이 구체적 목표에 대한 것을 5차 에너지기본계획에 맞추어 정리하였음
  · 실질적인 기술개발 로드맵으로 해당 목표를 달성하기 위한 기술적 요소기술과 기술개발 목표, 실행 방법을 기술
  · 그림 2.125내 2차 로드맵을 통해 변동되는 전략 목표를 볼 수 있으며, 최종 목표는 변화되지 않지만, 요소 기술 등에 대한 경쟁력 확보를 위한 단가를 명시함
  · (전력분야) `30년 기준 수소발전 상용화, `20년 천연가스 혹은 석탄과 수소 혼합 발전
  · (교통분야) 전체 자동차 보급 목표에 대해 변한 것이 없으나, `20년대 후반, 수소 판매차익 500엔/kg 목표
  · (연료전지분야) 전체 보급 목표는 변하지 않았으나, `20년 기준 가정용 연료전지 시장 자립화를 명시
  · (수소 공급) 공급 단가를 최종 `20엔/Nm^3까지 낮출 것을 명시
  · (수소 제조) 갈탄 가스화에 의한 수소 제조비용을 12엔/Nm^3 목표화
  · (수전해 시스템) 전기분해 시스템 50,000엔/kW 목표 및 AE 전력소모량 `30년 4.3 kWh/Nm^3 달성 목표

□ **(시사점 도출 및 PESTLE 분석)** `05년부터 이미 연료전지 등의 수소기반 구축사업을 시작하였으며, 기타큐슈를 통해서 최초 수소 사회 구축 가능성에 대해서 평가를 실시함.

○ 기후변화 대응을 위해서 `08년부터 시작하였으나 `14년 범 정부 차원의 에너지 기본계획을 통해 수소에 대하여 본격 언급함

○ 4차/5차 에너지 기본 계획내 전체 방향성을 언급하고, 민간 협회 주도로 장기 로드맵을 구축하는 프로세스가 일반화되어 있음

- 과거의 로드맵상 구축된 큰 틀을 그대로 계승하여, 지속성을 확보 하고 있으며, 4차와 5차의 차이는 기술 개발 단계에 대한 반영을 통해 당시 예측이 어려웠던, 경제적 부분의 요소기술 변화만 반영
- 환경적으로 재난이 많은 일본의 특성에 따라 에너지 자립과 분산전원 등의 국민의 인식도 향상이 초기 연료전지 보급에 기여함
- 보조금 정책과 전용요금제 등의 정책수단을 통한 보급 정책을 확대하였으며, 국가 차원의 장기간 실증사업을 통해서 현실성 있는 보급정책을 추진

· 초기 3 kW 급 연료전지에서 부담완화를 위해 0.7 kW로 시스템 규모 축소. 이를 통해서 설치비의 초기 회수가 가능해졌음

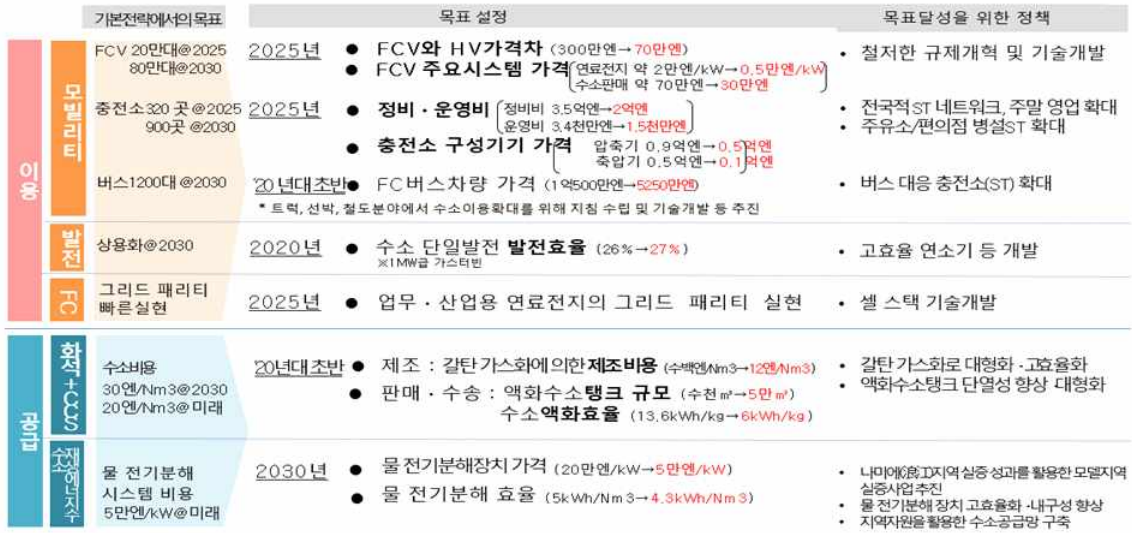


그림 2.125. 일본 1, 2차 수소·연료전지 전략 로드맵 (위: `14 로드맵, 아래: `19 로드맵)
(위: 손범석, 일본의 수소사회 구축에 대한 분석 및 시사점, 녹색기술 이슈 분석리포트, 2016)
(아래: 수소연료전략 로드맵, S&T SPS, 글로벌 과학기술정책정보 서비스, https://now.k2base,re.kr,)

○ 민간의 수소 자동차 핵심 기술 확보 후 `11년 민간 주도로 산업 진출을 추진하고, 정부에서 정책적으로 뒷받침

– 자동차 제조업체를 포함한 가스회사 등의 연합체로 구성되어있어, 산업분야를 확대할 수 있는 컨소시엄으로 평가될 수 있음

- 자동차 제조업체와 수소충전소 구축 등의 인프라 구축 기업간의 컨소시엄으로 이원화되어 수소교통 인프라 구축에 유리한 구조임

○ 다양한 정책적 뒷받침으로 인하여 산업 인프라 구축에 유리한 배경을 구축

- 자동차 구입 보조금, 충전소 구축 및 운영 보조금을 포함하고, 충전소 설치를 위한 규제 완화, 안전성 평가 완화 등의 경제적, 법적인 제도를 정비함

○ 국내의 경우 정부의 정책에 의해 민간이 움직이는 형태이나, 일본은 민간이 사전에 움직여서 정부 정책을 주도한 면이 있음

- 이는 사전에 민간의 핵심 기술을 바탕으로 시장 정책을 도입하는 구조로서 자국의 경쟁력이 확보된 상황이므로 시장 주도가 가능한 전략임

- 따라서, 일본의 경우 전체적인 로드맵 상의 목표 변화가 크지 않고, 장기적인 기술 개발과 대응이 가능함

○ 국내와 일본은 수소사회 구축을 위한 수소 생산이 어려운 환경적인 면에서 유사하기 때문에 해외 수입 구조에 대한 전략을 벤치마킹할 필요가 있음

- 갈탄에 의한 수소 수입은 자국내 생산이 아니므로 CO_2프리로서 고려하나, 실질적으로는 CO2의 발생이 있으므로 별도의 고려가 필요함

- 호주의 풍력활용 수소는 생산단가가 `25년 기준 2.2 $/kg내외이므로 비교적 경쟁력 있는 수소 단가가 가능한 것으로 판단

○ **(정치적)** 온실가스 대응을 위한 에너지 대응과 민간에서 요구를 반영한 정치적 뒷받침

- 타 국가와 다르게, 연료전지 업체, 수소자동차 업체로부터 기술개발이후 정책 도입

- `05년 연료전지, `11년 수소자동차 등의 기술개발이 확보된 `14년 이후 수소사회 구축에 대하여 국가 차원의 언급

- 국내와 유사하게 원자력 에너지에 대한 지속적인 규제 이후 해외 화석 에너지 의존도가 급증하므로써 에너지 소스의 다변화 필요

○ **(법적)** 보조금 정책 추진과 수소 인프라 구축에 대한 보조금과 확대를 위한 규제 완화

○ **(사회문화적)** 지진 등의 자연재해에 따른 국민의 에너지 자립화와 분산발전 등에 대한 요구가 확대

○ **(기술적)** 기술 개발 이후 산업 확대를 위한 전략 추진을 통해 세계 최고 기술 수준을 기 확보

- 국내와 수소자동차 면에서 기술 경쟁중에 있으나, 연비, 가격 등에서 한수위로 평가됨
- 연료전지 효율성 세계 최고 수준
- 각 분야별 장기 실증을 통한 핵심 기술을 소유하고 있어 기술 경쟁력 확보

○ **(경제적)** 수소 생산이 어려운 환경에 따라 천연가스 추출과 해외 수입 등을 통해 경쟁력 있는 수소 단가 확보 전략 추진

- `30년 이후 수소 공급 파이프라인 구축을 통한 가격경쟁력 확보

○ **(환경적)** 경제적 수소 생산이 어려운 환경과 빈번한 재난 등에 의한 에너지 분산 등에 대한 국민 요구

- 국내와 다른 단독주택 위주 분산전력 공급
- 재난 대응을 위한 비상 전략 및 에너지 소스로서의 연료전지 시스템 구축

그림 2.126. 일본 로드맵의 PESTLE 분석

4. 호주

□ 호주의 수소기술 구축 로드맵의 최종 목표 및 비전

○ 호주의 대표적인 기술 로드맵 (National Hydrogen Roadmap 2018)은 수소 사회의 구축에 대한 비전 보다는 자국의 수소 수출을 위한 기술 로드맵에 가까운 것으로 평가될 수 있음

- 파리 협정에 따른 온실 가스 27% 감축 및 호주에서 지속적으로 증가하는 천연가스 가격 경쟁력 약화에 따른 새로운 에너지 원의 필요성이 급증
- 신재생에너지로의 정책 변화와 액체 연료 수입에 대한 변동성이 높아짐에 따른 연료 확보량 부족
- 석유산업 쇠토에 따른 인력 수요 전환 및 기존 자원 수출망 유지와 활용을 위한 수단이 요구

○ 현재 시점이 수소의 상업 스케일로 변환의 첫 시작 시점으로 판단하고 시장 규모 확보를 위해 기술 개발의 필요성을 강조

- 특히 일본과 자동차 산업 성장을 미래시장으로 강조함

○ **(수소의 역할)** 변환이 용이한 에너지 carrier와 feedstock으로서의 역할로 규정

- 수소 생산기술을 크게 열화학 공정과 전기화학적 공정으로 분류하여 기술개발 로드맵을 설정하여 중점적으로 분석함
- 수소의 생산 단가를 풍력을 활용하여 `25년 2~3 $/kg H2 수준으로 목표설정하고 이후 수출을 실시하는 것으로 로드맵을 구성

○ 전략적 수출 루트의 개척

- 호주내 자체 수소 사회 구축보다는 해외수출, 특히 일본에 대한 수출 프로그램으로서 수소생산에 집중함. 따라서 경쟁력있는 수소 생산 단가를 타겟으로 생산기술에 대한 로드맵을 수립함
- 그림 2.128은 이러한 전략적 루트를 요약해 놓은 것으로 일본과 한국 그리고 아시아를 경유하는 수출 루트를 나타내고 있음

TIMEFRAME	COMMERCIAL	POLICY/REGULATORY	RD&D	SOCIAL
2018-2025	• Secure export offtakes • Implement vertical integration under a JV, 'take or pay' arrangement with CO_2 storage operator	• Government to secure long term liability for CO_2 storage reservoir • Implement 'Guarantees of Origin' scheme	• Improve efficiencies in water and CO_2 separation through hydrogen selective membranes • Further process intensification research	• Continue stakeholder engagement regarding safety and technical viability of CCS
2025-2030	• CO_2 reservoir operator to establish offtakes with multiple sources of CO_2 • Secure multiple revenue sources for gasification or SMR plant		• Continue to develop emerging technologies such as chemical looping, methane cracking, biomass gasification and solar fuels • Continue CO_2 storage reservoir appraisal and demonstration	

TIMEFRAME	COMMERCIAL	POLICY/REGULATORY	RD&D	SOCIAL
2018-2025	• Secure favourable low emissions PPAs • Position electrolyser for multiple hydrogen offtakes • Optimise plant operation with grid connected and dedicated renewables where possible • Establish verticals for optimisation across the value chain • Secure offtake for oxygen and revenue from grid services	• Implement regulations that provide appropriate compensation for grid firming services from electrolysis • Implement coordinated incentives for demonstration schemes with clear flow on learnings	• Improve PEM efficiencies via catalysts, lower resistance membranes • Implement lower cost and removal of BoP concepts • Improve lifetime of stacks by developing catalyst layers and membranes and by reducing corrosion of system components • Progress emerging high temperature electrolysis	• Develop engagement plans dedicated to normalising risk of hydrogen production to secure appropriate land

그림 2.127. 호주의 생산단가 목표 달성을 위한 action plan
(위: 열화학적 공정,아래: 전기화학적 공정 National Hydrogen Roadmap, www.csiro.au, 2018)

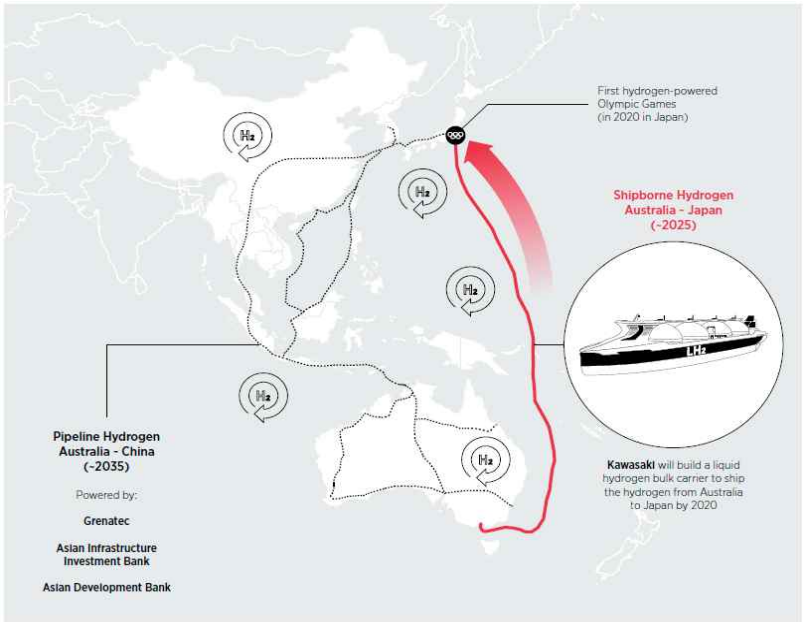


그림 2.128. 호주의 아시아지역 수출 전략 및 루트
(The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands)

○ 로드맵내 최종 목표

– (수소 생산) 수전해 기술과 풍력에너지의 결합을 통한 그린 수소를 `25년 기준 2.29 $–2.79 $/kg 생산

· 생산기술은 PEM 기술의 효율성 향상

– (수소 저장 및 이송) 육상 저장 기술은 현단계에서 가스 압축기술을 활용하고 액화 기술 개발을 통해 수출하는 전략을 추진

· 대량 생산된 저장은 지하저장을 고려하고 있음

· 기체 압축 저장에 대한 가격 (생산단가 + 0.3 $/kg)

*** 2.5 $/kg (생산 단가) + 0.3 $/kg = 호주내 생산 2.8 $/kg**

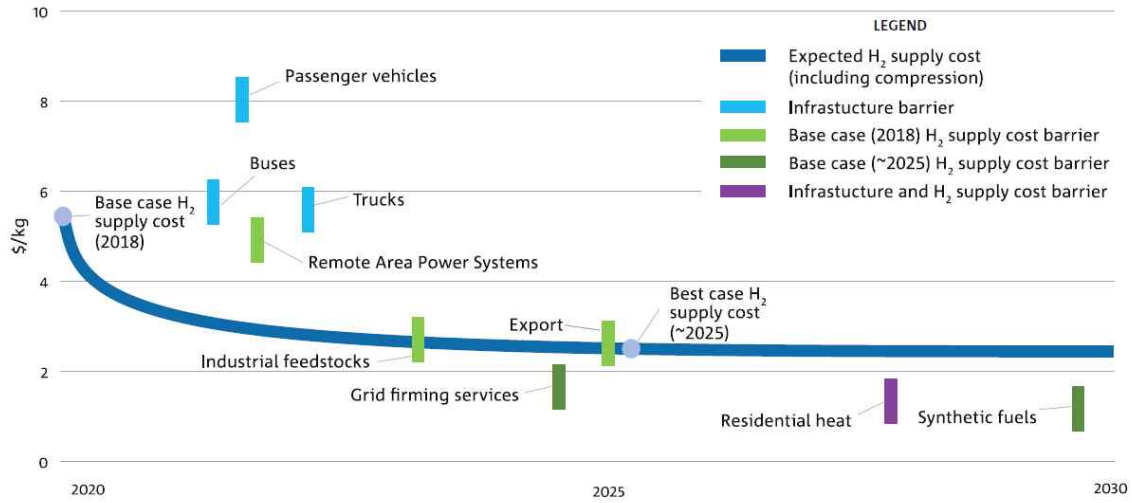


그림 2.129. 호주 기술 로드맵의 년도 별 목표 단가
(National Hydrogen Roadmap, CSIRO, 2018)

□ 호주의 수소사회 구축 로드맵

○ 호주와 독일간의 파트너 쉽 체결을 통해 실질적인 수소 인프라 구축에 대한 시나리오를 구축함

– 기술적 타겟은 National Hydrogen Roadmap에 의해 기술되어 있으며, 실질적인 수소 사회 구축은 Hydrogen Council에서 발표한 내용을 토대로 자체적인 수소 사회 구축 로드맵을 작성함

- 필요성은 수소 경제 구축이 기후변화에 대한 효과적인 대응 수단이고, 일본의 수입에 의한 시장 창출, 2가지로 기술
- 이 로드맵은 CSIRO 로드맵과 달리 수소 경제 구축을 위한 전반적인 사항을 다루고 있으며, CSIRO 로드맵은 수출을 위해 필요한 특정 가격 구조를 위한 기술 로드맵으로 규정

○ 수소의 역할을 에너지 carrier로서 규정하고 풍력과 태양광과의 조합이 충분한 이익이 있을 수 있음을 강조함

○ 그림 2.130은 호주가 `50년 글로벌 리더가 되기 위해 개발해야 하는 각 기술별 로드맵을 보여주고 있으며, 해당 로드맵을 위해 Hydrogen Council과 IEA의 로드맵을 참고한 시나리오를 작성함

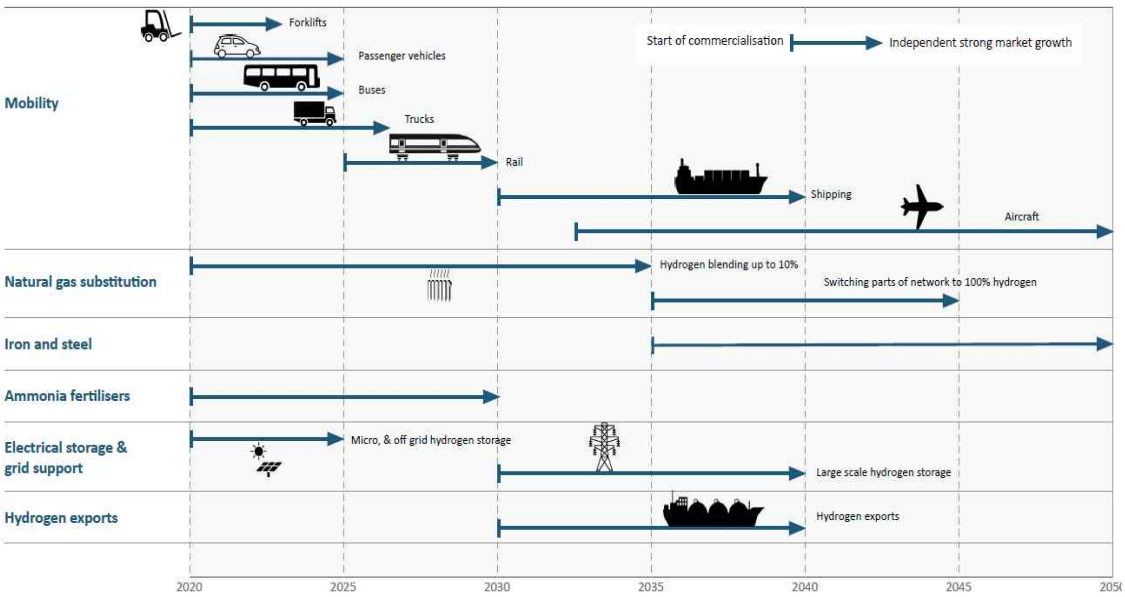


그림 2.130. 호주 수소 인프라 구축을 위한 로드맵
(Australia`s Hydrogen Future, Energy Transition Hub, 2018)

○ 그림 전체 로드맵상의 기술개발 보다는 실질적인 수출 시나리오의 측면이 강하여 타 국가에서처럼 시간별 각 기술의 목표보다는 `50년이후의 에너지 소모량 부분을 통칭하여 목표를 설정함

- 그림 2.131은 수소 사회 구축이후 전체 에너지의 약 32 %를 수소에너지로 대체하고, 화석연료의 비중을 40% 수준으로 낮추는 것을 주요 목표로 하고 있음을 보여 주고 있음

○ 전략적 수출을 위한 로드맵으로서 일본, 한국, 싱가폴, 중국, 다른 국가로 구분하여 수소 사용에 대한 잠재성을 분석하고,수출 목표를 설정

- 최소 74.6 PJ에서 최대 382 PJ을 수출할 수 있을 것으로 평가

- (주요 시장) 일본이 최대 시장으로 명시하고 있으며, 수출 시나리오의 62~63%를 담당하는 것으로 평가함

- 한국 시장을 2위로 평가하고 있으며, 수출 시나리오의 17.3~17.9%를 담당할 것으로 평가하고 있음

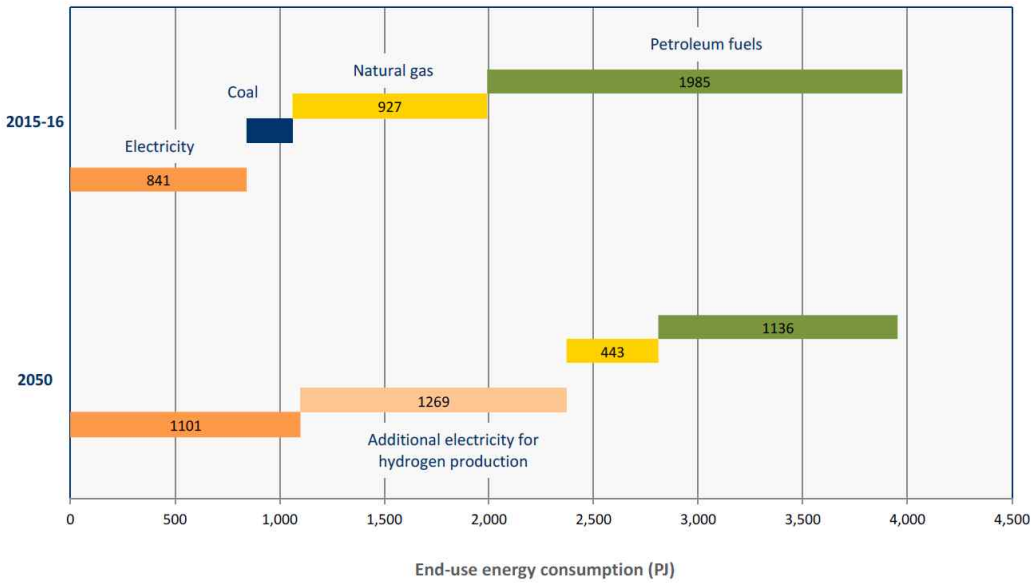


그림 2.131. 호주 수소 사회 구축시 에너지 최종 목표
(Australia`s Hydrogen Future, Energy Transition Hub, 2018)

□ **(시사점 도출 및 PESTLE 분석)** 타 국가와 달리 자국내 수소 사회 구축을 위한 로드맵이 아닌 수소 수출을 통한 호주의 산업 활성화 측면에서 작성이 되어 주로 단가 쪽에 치우침

○ 초기 호주내 갈탄을 사용한 수소수출 이후 풍력을 활용한 그린 수소를 수출하는 전략을 추진함

○ 일본 및 한국을 대상으로 가격 경쟁력 있는 수소 단가를 책정하고 있으며, 2.5 $/kg H_2 내외로 생산하는 것을 주요 골자로 하고 있음

- 이를 위한 기술 개발 가능성과 필요한 연구분야를 분석하고 로드랩을 구축함
- 국내 수소 생산이 어려울 경우 하나의 루트로서 고려해 볼 수 있음.

○ 현재 국내 수소 경제 활성화 로드맵에 따라 `30년이 되면 194만톤의 수소가 필요하므로 국내 생산만으로 부족할 경우 수입이 필수적이 됨

- 호주의 생산 단가가 2.5 $/kg H_2 수준이며, 이송을 할 경우 액화 상태로 수출될 경우 4~5$/kg H_2 (4,775원~5,969원/kg H_2)수준이 될 것으로 예상함
- 이 단가가 국내 생산성 평가의 기준이 될 수 있음

○ **(정치적)** 호주내 천연가스 가격 증대와 연료 수급의 불안정성에 따른 새로운 에너지 원이 필요
- 파리 협정에 따른 탄소저감 시급성에 따른 신재생에너지 경제 전환
- 향후 수소 경제가 신재생에너지 전환에 따라 지속적으로 확대될 것으로 전망

○ **(법적)** 에너지 소비에 대해서 법적 검토를 시작
- 향후 수소경제 도래시 가전제품 교체 보조금 등이 요구될 것으로 예측

○ **(사회문화적)** 화석연료 경제가 조금씩 후퇴하고 있음에 따라 잠재적 노동력 증가에 따른 산업 활성화에 대한 요구가 큼

○ **(기술적)** 수출을 위한 가격 경쟁력 확보를 위하여 기술 개발의 초점을 맞춤
- 그린수소 생산을 위한 기술 개발과 수전해 효율증대 기술
- 갈탄 가스화와 CCS의 결합
- 수출을 위한 액화 기술 개발

○ **(경제적)** 산업 확대를 위한 새로운 에너지 산업으로서 수소경제 확대
- 일본과 한국 등을 대상으로 수소 수출을 통한 산업 활성화 전략

○ **(환경적)** 신재생에너지로의 에너지 변환 추진
- 탈탄소에 대한 요구

그림 2.132. 호주 기술 로드맵의 PESTLE 분석과 한국의 키워드 도출

제 5절 수소 사회 구축 사례 분석

1. 수소 도시 구축 사례

□ 세계적으로 수소 도시 구축 사례는 일본, 영국, 덴마크 등을 제외하면 대부분이 실증적 기술개발에 그침

○ 일본은 `09년 기타큐슈 지역의 “제철소 부생수소를 이용한 수소 타운 구축”을 통해서 수소의 잠재적 가능성을 평가하였으며, 기타 잠재적인 계획하에 모델을 구축하여 진행중에 있음

○ 영국은 천연가스 배관내 수소의 혼합을 위한 기술적 평가를 위해 리드시를 통한 실증 사업을 구축하였으며, 애버진 시를 통해서 신재생에너지의 수소 전환을 실증 사업화를 하였음. 따라서 실질적인 수소 도시내 인프라 구축과는 거리가 있음

○ 덴마크는 풍력을 활용하여 수소 도시 가능성을 평가하였으나, 실질적으로는 소규모로 평가될 수 있음

○ 미국은 수소 자동차 도입 가능성 평가로 정리될 될 수 있으며, 실질적인 수소도시 구축과는 거리가 있음

□ 국내는 울산 수소타운으로 대변될 수 있음

○ 울산은 `14년 기준으로 1차 수소타운에 대한 잠재적 가능성을 평가하였으며, 현재는 2차 수소타운 확대를 위해 계획 중에 있음

2. 일본 수소 타운

□ 기타큐슈

○ 4차 에너지 기본 프로그램 중 JHFC 프로젝트와 수소 고속도로 프로젝트를 토대로 수소시티를 진행하였으며, 최종적으로 기타큐슈에 수소 타운을 실증한 사례가 있으나, 실질적으로는 기타큐슈현 모델이 대표적임

○ `11년 수송공급 이용기술 연구조합 (HySUT)가 후쿠오카 수소에너지 전력회의 및 기타큐슈시와 협력하여 실증 시험 실시

○ 기타큐슈 시내의 신일본 야하타 제철소 등에서 발생하는 연간 5억㎥의 부생수소를 비롯, 전국에서 유일하게 시가지를 통과하는 수소 파이프라인을 활용하여 '키타큐슈 수소 스테이션'에서 인근주택, 상업시설, 업무용의 순 수소형 연료전지 운전실증시험과 '연료전지-태양광발전-축전기'의 연계운전에 의한 공급 시스템을 검증

자료: 충남리포트 187호

그림 2.133. 기타큐슈 수소 타운 개념도

- 신일본 야하타제철소에서 발생하는 부생수소를 키타큐슈시 시가지를 통과하는 파이프라인으로 일반가정, 상업시설, 공공시설에 수소를 공급

- 기타규슈지역에 수소타운 시범도입을 위해 중앙정부는 규제를 완화하였으나 시는 상업적으로 규제 완화하지는 않았음. 따라서 도시가스 안전법 준용 설비를 통해 운영함

- 총 5가지의 수소타운 실험결과 의의를 가짐

· **(수소파이프라인 공급실증)** 부생수소에 부취제를 첨가한 후 시내까지 1.2km를 매립 탄소강관으로 이송. 수소관 위에는 광섬유로 진동센서를 부착 진동을 감지하여 공사 등으로 일정이상 진동이 감지될 경우 수소누설 확인. 배관의 50 cm 상부에는 '수소관주의'경고 띠를 같이 매설

· **(연료전지 실증)** 순수 수소 연료전지 다용도 병렬운전 실증하여 주거공간에 태양광 축전지 등과 병렬로 운전. 그림 130에서 볼 수 있는 것처럼 1 kW급과 100 kW급을 설치하여 시스템으로서의 성능을 평가

· **(이동수단)** 수소연료를 사용하는 소형이동수단을 Prototype으로 개발하고 실증 운영. 수소지게차, 수소자전거, 수소오토바이를 주 대상으로 운영함.

*** 실효성 부족에 따른 자전거 실증 중단 및 스즈키에서 수소전지 스쿠터는 상용화 개발 중**

· **(자가 발전)** 재해대비 독립 전원으로서 연료전지차를 이용하여 주택에 전력공급을 실증

· **(수소생산)** 고령자임대주택에 태양광 풍력 등으로 지역잉여전력 발생 시 2Nm³/h 수전해장지로 수소 20 Nm³를 저장하였다가 전력수요 증가 시 4.5kW 연료전지를 이용하여 전력 공급실증

– 키타규슈 도심에 수소충전소 2기로 이와타니, JXTG에서 운영 중, 수소연료전지 자동차 10대 운행함.

□ 환경성 주관의 8개의 수소 커뮤니티 구축 프로젝트

○ 환경성에서 주관으로 소형 커뮤니티 수준의 모델을 8개 계획함

– 그린 수소 위주의 수소 생산과 다양한 저장 기술에 대한 실용성 테스트를 실시

– 주 활용으로서 지게차, 택시, 버스 등을 타겟으로 교통을 구축하며, 다양한 인프라를 확인하는 실증형 프로젝트로 구분

○ (풍력발전과 수전해) 연료전지 지게차 도입과 청정수소 활용 모델 구축을 입증하기 위한 프로젝트

– 주요 파트너 : Toyota Motor Corp.

– 지방자치단체 : 가나가와 현, 요코하마 시, 가와사키 시

– (생산) 요코하마, 가나가와의 풍력(Hama Wing)과 물 전기분해로 생산

– (활용) 게이힌 친수지역의 물류 창고, 냉동창고 그리고 청과시장에서 사용되는 연료전지 지게차에 공급.

○ (축산분뇨 기반) 축산 분뇨 기반 수소 공급 체계 실증을 위한 프로젝트

– 주요 파트너 : Air Water Inc

– 전략적 파트너 : Kajima Corp., Nippon steel & Sumikin Pipelin & engineering co. Ltd., and Air Products japan K.K.

- 지방자치단체 : 홋카이도, 시카오이 정, 오비히로 시
- (생산) 시카오이, 홋카이도의 축산분뇨기반으로 생산
- (활용) 낙농업 시설의 전기와 열 공급 및 연료전지 차의 운영

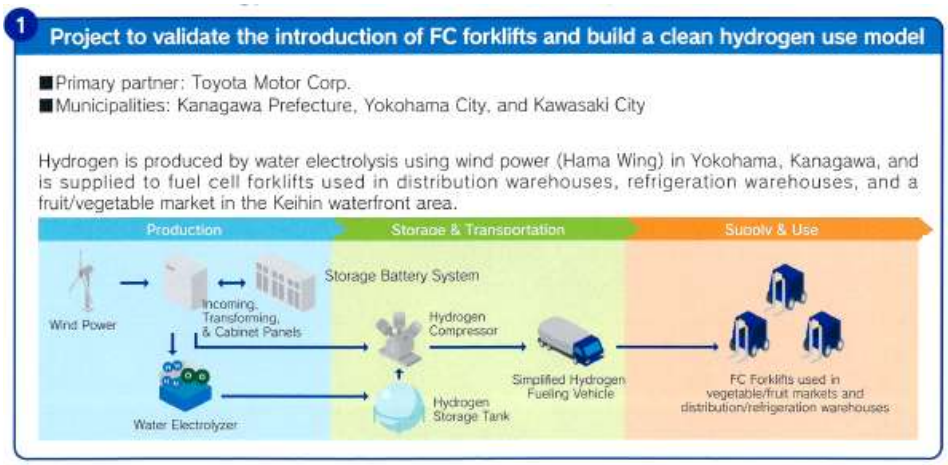


그림 131. 풍력발전 및 수전해 수소의 연료전지 지게차 활용 모델

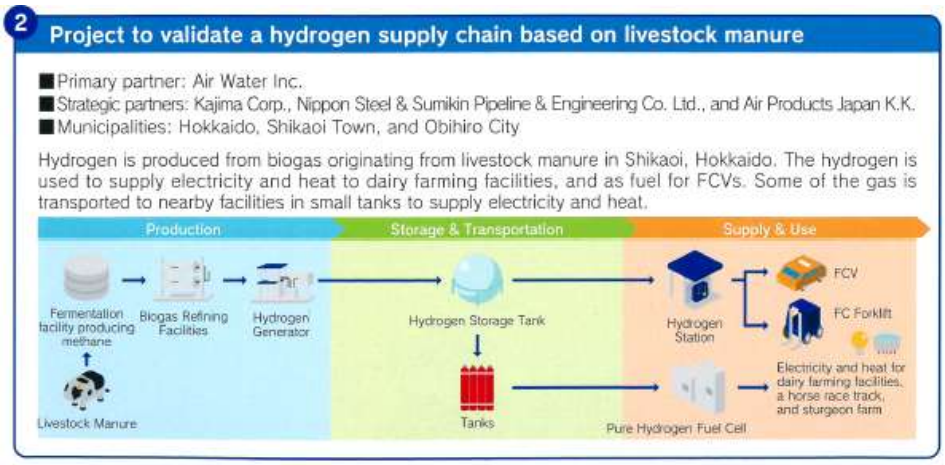


그림 2.134. 축산분뇨 기반의 수소 공급 모델로 농장과 연료전지 차량 연료 공급모델

○ (가성소다 기반) 고순도 폐기물 수소를 사용한 지역 협력 및 지역 에너지 생산/소비 모델 구축 프로젝트

- 주요 파트너 : Tokuyama Corp.
- 전략적 파트너 : Tosoh Corp., 야마구치 시, 슈난 시, 시모노세키 시
- (생산) 슈난, 야마구치의 가성소다 생산 공정의 부생수소
- (공급) 파이프라인이나 가스탱크를 통한 연료 전지로의 수소 공급과 액화이송

- (활용) 연료전지에 의한 전기 또는 열 생산. 수소 연료 충전소 내 공급과 시모노세키의 파일럿 연료 공급시설로 액화 수소 운송

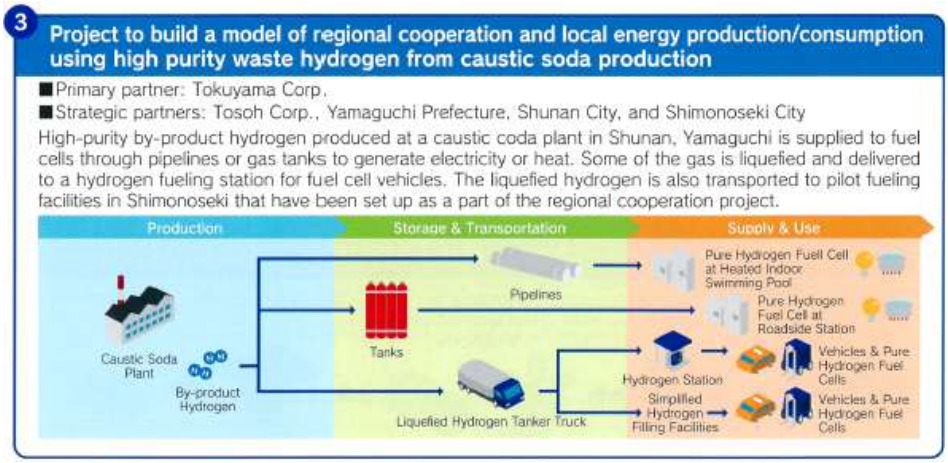


그림 2.135. 부생수소를 활용한, 액화저장 및 파이프라인 운송 프로젝트

o (재활용 플라스틱 기반) 폐플라스틱의 재활용을 위한 저탄소 수소 생산

- 주요 파트너 : Showa Denko K.K.
- 지방자치단체 : 가와사키 시
- (생산) 폐플라스틱 분해를 통한 수소 생산
- (이송) 파이프 라인을 통한 공급과 압축 수소의 튜브트레일럿 이송
- (활용) 호텔내 연료전지내 수소 공급을 통한 전기 및 열 공급과 수소 연료 충전소에서 활용

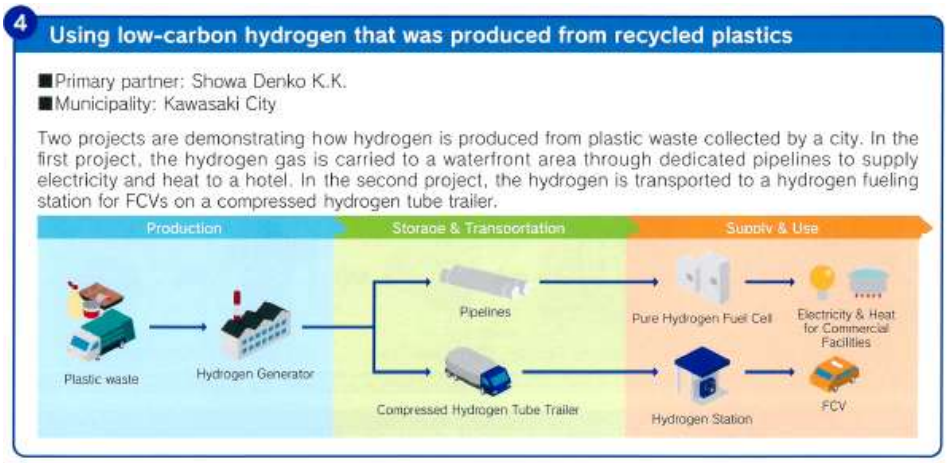


그림 2.136. 폐플라스틱 기반 수소 생산 및 파이프라인 공급 프로젝트

○ (소규모 수력 발전소 기반) 수력발전에 의해 생산된 재생 가능 수소의 활용을 확대하는 수소 사용 모델을 구축하기 위한 프로젝트

- 주요 파트너 : Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.
- 전략적 파트너 : Iwatani Corp.
- 지방자치단체 : 홋카이도, 구시로 시, 시라누카 정
- (생산) 시라누카, 홋카이도의 쇼로 댐에 위치한 소규모 수력 발전소의 전력활용을 통한 수전해 수소 생산
- (이송) 고압 압축 수소의 튜브 트레일러 이송
- (활용) 연료전지를 통해 전력 또는 열을 공급 혹은 연료전지차의 연료로 사용

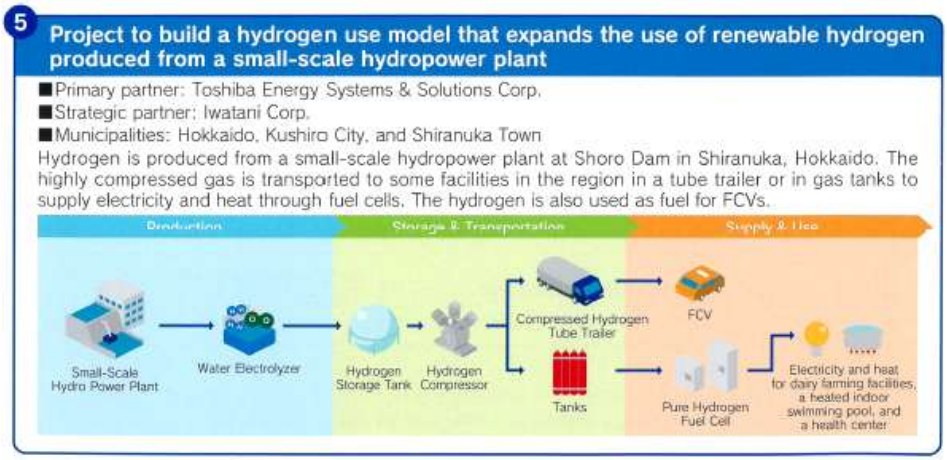


그림 2.137. 수력발전 기반의 수전해 수소 생산 플랜트 실증프로젝트

○ 도미야, 미야기 현의 순수 수소 연료 전지와 기존 물류 네트워크를 사용하여 저탄소 수소 공급 사슬을 입증하는 프로젝트

- 주요 파트너 : Hitachi Ltd
- 전략적 파트너 : Marubeni Corp., Miyagi Coop., 도미야 시
- (수소생산) 도미야, 미야기에 위치한 태양력 발전소와 수전해 플랜트의 결합에 의한 그린 수소 생산
- (수소저장 및 이송) 수소 흡장 합금 카트리지에 저장된 뒤 협동조합 배달 트럭을 포함한 도시의 기존 물류 네트워크를 이용하여 공급
- (수소 활용) 매장, 가정, 방과 후 탁아소로 공급된 후 연료전지를 통해 전력 및 열 공급

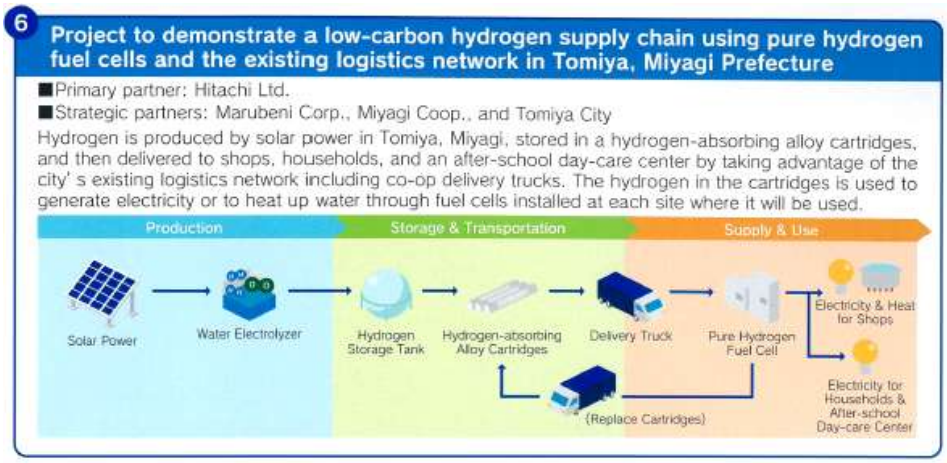


그림 2.138. 태양광 기반의 그린수소와 금속저장 기술의 실증 프로젝트

○ (풍력 기반) 풍력과 수전해 기술을 통한 그린 수소의 천연 가스 혼합 공급 및 사용을 입증하기 위한 프로젝트

- 주요 파트너 : NTT Data Institute of management Consulting, Inc.
- 전략적 파트너 : Dainichi Machine and Engineering Co., Ltd.
- 지방자치단체 : 노시로 시
- (수소 생산) 아키타, 노시로 시의 풍력을 이용한 전기 분해에 의해 생성
- (수소 이송) 천연 가스 혼합되어 가스 파이프라인을 통해 공급
- (수소 활용) 상업적으로 이용 가능한 가스 활용 장비에 적용하여 가능성 검토

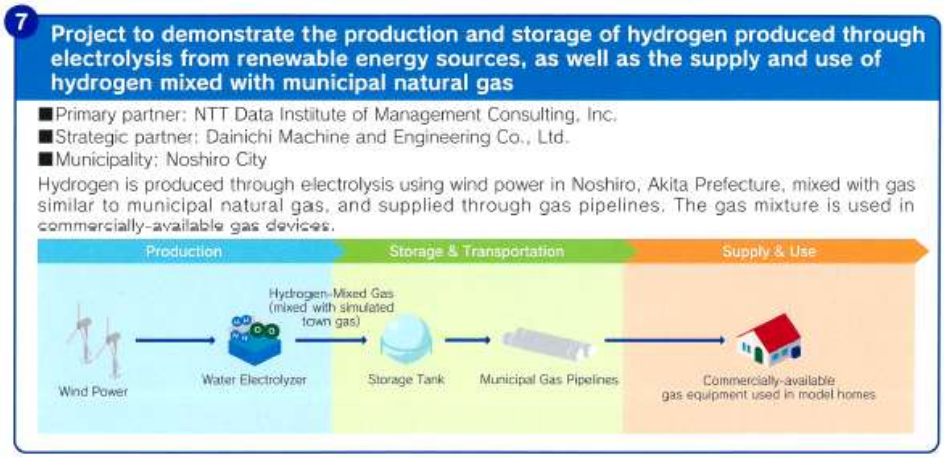


그림 2.139. 풍력기반의 그린 수소를 천연가스와 혼합하여 공급 가능성 실증

○ (풍력기반) 건축물과 도시 기반시설에서의 수소 사용 증진을 위한 저압력 수소 공급 시스템 입증을 위한 프로젝트

- 주요 파트너 : Taisei Corp.
- 전략적 파트너 : 무로란 시, 규슈 대학교, Muroran Institue of tecyhnology, Tomoe Shokai Co., Ltd., The japan Steel works ltd., and Kita Koudensha Corp.
- 지방자치단체 : 홋카이도
- (생산) 무로란, 홋카이도의 풍력과 수전해를 통한 그린 수소 생산
- (저장 및 이송) 수소 흡장 합금 탱크에 저장되고 차량으로 운송
- (활용) 온천 시설내 연료 전지를 통해 전기와 열 공급

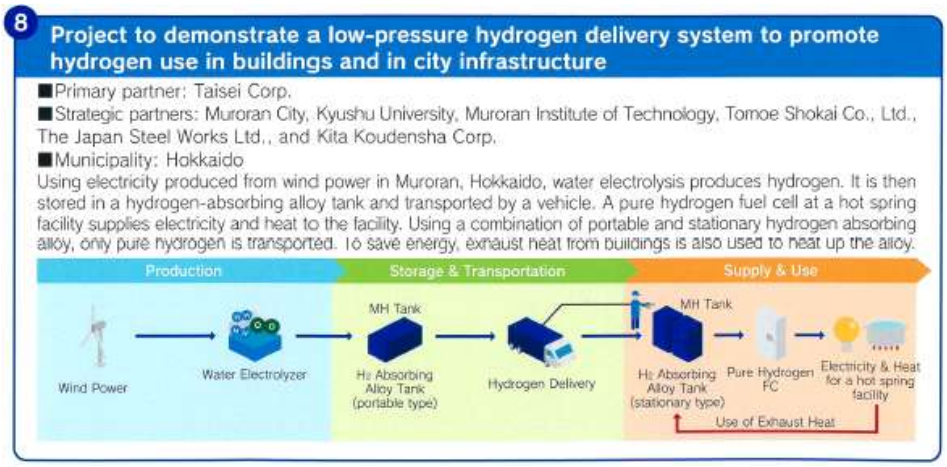


그림 2.140. 풍력기반의 그린 수소를 금속저장을 통해 건축물과 온천 등에 공급실증

2. 영국 리드 시

□ H21 Leeds City Gate Project

○ 프로젝트를 통해 도시 전체의 연료전지 보급망을 수소 에너지로 전환해 사용하기 위한 연구를 진행

- (목적) 도시내 천연가스 사용량을 줄임으로서 CO_2 발생량 감소를 위해 100 % 수소 공급 컨셉에 대한 기술적 경제적 관점의 타당성 검토를 진행
- `14년 10월 애버딘시의 LCNI회의를 통해 H21 리드시 게이트 프로젝트 출범

- (내용) 프로젝트를 통해서 확인하고자 하였던 변수는 총 6가지 였음
  · 도시내 100% 수소전환에 대한 타당성 검토를 위해서 현 천연가스 배관 사용의 가능성검토
  · 기존 도시내 에너지 사용량을 수소로 전부 대체할 수 있는 지 여부와 사용자의 수용성 여부
  · 수소생산량이 대도시내 에너지사용량을 충족시킬 수 있는지 여부를 판단
  *** 메탄 추출을 통하여 이 문제를 해결하고자 함**
  · 모든 적용 기술의 실현 가능성을 검토
  · 영국의 모든 도시에 대한 적용가능성이 있는지를 판단
  · 취성 문제 해결을 위해서 저압 (<7 bar)에서 운영해야만 함

그림 2.141. Leeds 시 가스 공급 조감도 (좌)및 H21 프로젝트에 의한 수소 공급(우)
(Leeds City Gate, H21,프로젝트 보고서)

○ 정부 통계자료를 기반으로 연간 평균 전력사용량은 5.9 TWh가 소비될 것으로 계산되며, 계절에 따른 피크기간에는 6.4 TWh가 소비될 것으로 나타남

○ 이러한 소비 패턴을 바탕으로 Teesside에 위치한 4개의 스팀 메탄 개질 (Steam Methane Reformer, SMR) 플랜트를 통하여 수소를 공급

○ 하루 분량의 저장을 위해서는 동일 지역에 위치한 소금 동굴을 이용하여 지하에 수소 가스 저장소를 통해 저장 및 공급하고 계절간의 저장을 위해서는 East riding에 위치한 해변에 저장소를 통해 저장 및 공급 진행

○ 기존 8개 지역의 천연가스 중압 배관 (Medium pressure (MP) network)를 개보수하고 1개 지역에 17 bar 신규 파이프라인을 건설하여 생산된 수소를 이송할 계획 수립

○ 천연가스 배관의 개선과 메탄개질 플랜트를 구축하기 위해 230 million 파운드를 비롯한 각종 CAPEX 및 OPEX를 고려한 결과 총 2,054 million 파운드가 소비될 것으로 계산됨

○ 이송을 위한 파이프의 부재와 수용할 수 있는 시장의 규모가 작아 현시점에서는 수소의 활용이 어려운 것으로 나타나고 있으나, 장기적인 관점에서 기술의 개발과 국제적인 기후변화협약으로 인해 지속적으로 활용처가 늘어날 것으로 예측

○ 결과에 따라 대표적인 도시내 공급 시스템 구축을 위해서 구축비 260억 파운드, 운영고정비 240억 파운드, 매년 운영 비용 28억불이 소요될 것으로 예측

		CAPEX		OPEX	
Illustrative Rollout Profiles 16/17 Prices	Years	Total CAPEX Investment (£m)	Conversion Years	Labour & Appliances OPEX Costs (£m)	Annual OPEX Costs (£m)
Leeds	20-25	991	26-28	1,053	138
Teesside	26-28	647	29-31	895	117
Kingston Upon Hull	26-28	297	29-31	370	48
Newcastle	29-31	1,421	32-34	1,602	183
Manchester	29-31	2,826	32-34	3,113	337
Sheffield	32-34	679	35-37	652	77
Liverpool	32-34	1,990	35-37	1,988	231
Edinburgh	33-35	817	36-38	576	66
Glasgow	36-38	1,373	39-41	1,328	139
Birmingham	36-38	3,242	39-41	2,936	340
Bristol	39-41	707	42-44	463	53
Cardiff	39-41	468	42-44	373	42
Aberdeen	39-41	555	42-44	242	27
Leicester	42-44	444	45-47	352	38
Luton	42-44	390	45-47	221	24
Oxford	42-44	323	45-47	166	18
London	42-44	9,151	49-51	8,027	899
Total		26,318		24,357	2,779

Table 11.3. *Illustrative Rollout Profile 2016/17 Prices*

그림 2.142. 영국내 대표 도시로의 확대를 위해 요구되는 예산
(Leeds City Gate, H21,프로젝트 보고서)

3. 덴마크 롤랜드 섬

□ Nakskov Hydrogen Society Project

○ 덴마크는 롤란드섬 Nakskov지역에서 수소를 생산하고 Vestenskov에 수소를 공급하는 프로젝트를 진행하며 총 3단계로 구성되어 있음

- (1 단계) Danish 사에서 제공하는 연료전시 시스템을 실험실 수준에서 실증하고, 수소 생산 플랜트를 지역 거점에 건설
- (2 단계) 13개의 micro 연료전지를 가정집에 설치하여 운영
- (3 단계) 80개의 연료전지를 가정집 등에 공급하고, PEM연료전지 시스템, 천연가스 SOFC연료전지 시스템, 그리고, 천연가스 HT PEM 연료전지 등의 3종류를 비교
- (투입예산) 약 25억을 투입
- (목적) 수소공급을 통한 풀 스케일의 수소 연료전지 실증 시스템을 구축하기 위하여 프로젝트를 시행

○ 1단계에서 수소는 롤란드 섬의 풍력을 활용하여 수전해 플랜트에 의해 생산되며, 각 가정과 산업용을 위해 설치된 연료전지모듈에 공급함

- 하수처리장 내 설치되어, 발생된 산소는 수처리에 그리고 발생 전력도 폐수처리 시스템에서 주로 사용함

○ 2단계와 3단계에서는 가정용으로 공급되었으며, 공급방식은 천연가스공급방식과 동일하며 구소가 각 가정에 공급되기 전에 탱크에 저장되며 파이프를 통해 공급하는 방식을 채택하여 운영

4. 울산 수소 도시

□ 울산 수소 타운

○ (개요) 정부 52억, 울산시 19억, 민간 17억 등의 88억을 투자하여, `12년 프로젝트 출범

○ (규모) 울산시 울주군 온산읍 LS 니코동제련 사택 140가구를 대상으로 삼성 BP 화학에서 생산하는 부생수소를 공급하여 운영함

자료: 덴마크 롤랜드 시(www.lolland.dk)

그림 2.143. 덴마크 롤랜드 섬 프로젝트 모식도 (www.lolland.dk)

- (연료전지) 1 kW급 140기를 통한 가정 공급과 5kW급 9기(공공기관), 10 kW급 1기 (체육관) 가 설치되어 있음
- (파이프 라인) 수소 실증화 단지를 구축하여 LS 니코동제련 사택 140세대내 연료전지 설치 후 ㈜ 덕양에서 수소를 공급함 (그림 2.65 참조)
  · (공급용량 및 압력) 10,000 Nm^3/hr, 20 bar
  · (배관 크기 및 길이) 6 inch (150 mm), 3 km
  · (배관 재질) 스테인리스 스틸 재질 (압력조정설비 및 건물실내 수소 배관) 및 폴리에틸렌 피복강관 (수소공급관)으로 구성되어 있으며, 희생양극법을 적용한 부식방지

*** 국내 수소타운내 0.1MPa 이하 저압 수소사용시설의 안전관리 항목분석, KIGAS, Vol. 19. 2019**

  · (설계업체 및 구축 단가) 세원이앤이, 10억/1 km
  · (컨소시엄) 울산시, 울산 테크노파크, LS, 두산 퓨어셀, S-퓨어셀, 현대스틸, 효성

○ 수소타운에 설치된 연료전지는 기존에 도시가스를 이용하는 시스템과 달리 수소를 연료로 바로 이용하기 때문에 개질과정이 필요 없어, 산업체에서 발생한 부생수소는 정제과정만을 거쳐 고순도의 수소로 공급

마 을 명	○ 울산시 온산읍 덕신마을		
설치장소	○ 장소명 : LS니꼬동제련(주) 사택 및 주변건물 ○ 소재지 : 울산광역시 울주군 온산읍 덕신리		
참여업체 (컨소시엄 구성)	○ 울산광역시 ○ 울산테크노파크 ○ 연료전지 제조업체 : GS칼텍스, 퓨얼셀파워, 효성, 현대하이스코 ○ 순수수소 공급 : 주배관(SPG 산업), 수소공급(삼성BP) ○ 수소인프라 구축(배관 및 설비) : 효성(백옥건설) ○ 안전관리 : ㈜SDG		
세부사업	사 업	호수(개소)	용량
	그린홈 100만호	(단독) 140개소	140kW
	일반보급	2개소	45kW
	지방보급	1개소	10kW
	합 계	143개소	195kW

그림 2.144. 울산 수소타운 사업 요약
(우항수, 울산 수소타운 시범사업 현황, 전기저널, 2014)

○ 보급된 4개사 연료전지시스템은 별도 개질과정이 필요 없기 때문에 발전효율은 49~50%, 총 효율은 84~93%로 더 향상된 것으로 조사됨

○ **(운영 성과)** 연료전지 발전은 총 983,324 kWh, 전기요금 세대별 857천원 절감

- CO_2 감축량 :총 444.15 ton/d,
- 연평균 가동률 : 66%

*** 초기 2년간 가동률 평균 78%, 후기 3년간 평균 59%로 급격한 감소가 발생**

제 6절 시사점 및 기술개발 방향성

1. 각국의 대표 로드맵 비교

□ 세계 수소기술개발 로드맵

○ 미국의 국가적 차원의 로드맵은 없으며, 캘리포니아의 수소자동차 및 수소충전소 도입을 위한 로드맵만 구축됨

- DOE는 향후 수소 경제 도래를 위해 필요한 경제성 확보 수단으로서 기술 로드맵을 작성
- 실질적으로 경제성 확보를 위한 각 기술별 단가 목표와 기술 개발에 대한 장벽 등을 기술하였음
- 제시된 수소 기술 관련 단가는 미국내 수소 교통차원에서 수소 충전소의 수소 공급 가격에 초점이 맞추어져 있음

○ 유럽, 일본 그리고 호주

- 각 국가 별로 각각의 목적에 따라서 로드맵을 수립함
- 그러나, 만들어진 로드맵 상에서 기술적 분류는 모두 유사함

· 생산 기술 : **SMR + CCS, 수전해 + 신재생에너지**

· 저장 기술 : **기체압축 (700 bar, 1,000 bar)**, **지하 저장 (소금동굴, 대수층 저장)**
극저온 압축 (500 bar), 액화, LOHC, 액상, 금속 수화물

· 이송 기술 : **튜브트레일러, 파이프라인 (저압 7 bar 이내,** 고압 100 bar이내**),**
액화수송트럭, 선박이송, 철도이송

· 활용 기술 : **연료전지 (발전용, 가정용), 수소 충전소, 수소 차량 (승용, 버스, 트럭, 지게차), 철도**, 비행기

- 각 국가별 상황에 따라서 해당 기술의 우선 순위가 다르지만, 활용 분야 중 수소 교통 분야는 모두 유사함
- 생산, 저장, 이송 기술에 대한 로드맵은 국가의 환경과 기본 인프라에 대한 분석을 토대로 수소 인프라 구축과 기술개발 목표를 기술하나, 활용기술 분야에는 로드맵상 목표 년도에 따른 보급 목표로 귀결됨

○ 국내 수소경제 활성화 로드맵

- 국내 상황 분석에 따른 목표라기보다는 세계 최고를 지향하는 목표를 제시하였으며, 아직 기술 개발 로드맵을 기획 중에 있는 관계로 로드맵 달성을 위한 기술적 타당성 검토가 어려움
- 따라서 목표 대비 달성 가능성 및 산업 확대 가능성에 대해서 상황적 분석에 의존한 분석이 될 수 밖에 없음

□ 세계 수소기술개발 로드맵의 비교

○ 표 3.34은 세계 각국의 대표 기술 로드맵을 비교한 것으로 각 국가별로 특징이 나타나고 있음

- 수소 사회 구축에 대한 세부적인 목적은 다르나 대부분 온실가스 저감에 대한 공통적인 목적이 있음
- (강력한 정부의지) 일본, 한국은 강력한 정부 의지에 따라서 수소사회 구축이 이루어지고 있으나, 유럽은 영국, 독일, 네덜란드 등에서 신재생에너지 정책의 일환으로 진행되고 있음
- (산업 주도) 일본, 한국은 분야별 세계적인 기술 수준과 시장을 갖춘 국가로서 산업 주도적인 목적이 별개로 존재함

· 일본 : 가정용 연료전지, 수소자동차
· 한국 : 발전용 연료전지, 수소자동차

○ 생산기술은 유럽을 제외하면, 초기단계는 SMR을 고려하고 있으며, 장기적으로 수전해 기술을 도입

- 유럽은 수전해 기술 관련 대표 그룹 등이 핵심기술을 1800년대부터 개발함에 따라서 가장 상용화에 근접한 기술을 가지고 있음
- 일본과 한국은 관련 기업 혹은 핵심 원천 기술 소유가 부족함에 따라 기본 인프라 관련 기술보다는 응용 분야를 확대하고자 함

○ 이송기술은 유럽은 파이프라인 공급을 최우선 고려하나, 미국, 한국과 일본은 튜브트레일러에 의존

- 미국은 수소충전소 위주의 수소 공급이므로 굳이 파이프라인에 의한 공급을 고려할 이유가 없음
- 한국과 일본은 연료전지 분야 생성을 위해 파이프라인이 필요하나, 천문학적인 예산으로 인하여 장기 계획으로 수립하였으며, 기체 압축 이송 우선

*** 일본은 액화기술을 상용화하여 이송계획을 수립함 (해외 수입에 따른 액화의 필요성 증대)**

표 2.34. 각국의 기술로드맵 비교

항목	미국	일본 (`14 ~)	유럽 (`19)	호주 (`18)	한국 (`19)
배경	– 중동전쟁이후 화석연료 의존도 감소 필요성	– 원전 감축에 따른 에너지 독립성 확보 필요	– 파리협약 – 신재생에너지 확대 보급을 위한 실질 수단	– 천연가스 가격 증대에 따른 산업 대체 수단 필요	– 미세먼지 및 온실가스 저감 – 산업확대
목적	– 에너지 다변화 – 캘리포니아 환경보전	– 온실가스저감 – 수소경제선도	– 온실가스 저감	– 에너지 산업 확대 (수출)	– 수소 경제 선도 – 산업 확대
수소생산	– 특별한 기술이 없이 경제성 우선 – SMR 기술 우선	– 단기: SMR + CCS – 중장기: 해외 수입	– 주: 신재생에너지+수전해 – 보조: SMR + CCS	– 단기: 갈탄 가스화 + CCS – 장기: 풍력 + 수전해	– 중단기: 부생수소+SMR – 장기: SMR, 수입, 그린수소
수소저장	– 지하저장 – 가스압축, 극저온압축	– 가스압축, 액화	– 지하저장, 가스 압축	–	– 가스압축, 액화
수소이송	– 튜브트레일러, 액화트레일러, 파이프라인	– 단기: 튜브트레일러 – 중장기: 액화트레일러, 파이프 라인	– 주: 파이프라인 – 보조: 튜브트레일러	– 수출을 위해 액화 선박 이송	– 중단기: 튜브트레일러, – 장기: 파이프라인, 액화 이송 트럭
수소활용	– 수소 교통에 초점	– 연료전지, 수소교통	– 수소교통, 연료전지	–	– 수소교통, 연료전지
로드맵 도출 전 실증사업	– H2FIRST 프로젝트	– Hy-Life 프로젝트 – 키타큐슈 수소타운 – Hydrogen Leater City – JHFC 프로젝트 – 에너팜 실증	– 수소버스: CUTE, HyFLEET – H2ME – FCH2JU 프로젝트 – 연료전지: CEP – Leeds city 실증 – Lolland 실증	–	– 울산 수소 타운
지향목표	– 캘리포니아 지역 내 친환경차량 운행	– 수소 경제 선도 – 에너지 다변화	– 파리협약 협정 이행	– 일본, 한국 등을 대상으로 수출에 따른 산업확대	– 수소차, 연료전지 세계 1위 – 그린수소 산유국
수소 공급단가	– SMR 기준 : 3.8 $/kg * 중앙 : < 7 $/kg	– `30년 기준 수입단가; 30 ¥/Nm^3 (336 ¥/kg=3,637원/kg)	– 생산목표 (`30년) · 수전해 : 3 €/kg H_2 · SMR+CCS : 2 €/kg H_2 – 이송 목표 1 €/kg H_2	– `25년 기준 생산단가 : 2.29 $-2.79 $/kg	– `30년 기준 공급단가: 4,000원/kg
현 상황	– 캘리포니아에서만 시행	– 가정용 연료시장 1위 – 수소차 기술력 1위 – 강한 정책적 의지 (올림픽)	– 늦은 출발 – 영국, 독일을 중심으로 수소 교통 확대	– 신재생에너지 확대 정책	– 강한 정책적 의지 – 발전연료전지 시장 1위 – 수소차 점유 2위권

□ 수소기술개발 로드맵과 실증 사업

○ 유사한 목적으로 수소 사회 구축 로드맵을 작성한 국가는 일본, 유럽, 한국으로, 분류될 수 있으며, 특징적으로 한국을 제외한 일본과 유럽은 다양한 실증사업 결과를 토대로 로드맵을 작성함

- (일본) 핵심기술을 이미 소유한 상태에서 민간의 요청에 의해 로드맵을 작성
  · `05년~`10년까지 연료전지에 대한 기술 확보 및 실증을 통해서 핵심기술 소유
  · `11년 수소차 관련 핵심기술 개발이후 수소 교통에 대해서 민간이 확대를 천명

- (유럽) HyStock, Leeds City Gate, Lolland 프로젝트 등 각 국가별 다양한 목적의 실증사업을 통해 모여진 data를 기준으로 F2CH JU에 의해서 종합 로드맵을 발표
  · 각 국가별 수소사회 구축 로드맵은 따로 존재 하나, 공통적으로 필요한 내용을 종합하여 발표된 성격이 강함

○ 한국은 울산 수소시티 시범사업 (`12년)을 제외하면 현대자동차에서 자체적인 개발에 의존하고 있으며, data가 부족한 상황에서 수소경제 활성화로드맵을 구축한 관계로 수소 공급단가와 수소 공급량 등의 장기적인 목표 달성 여부가 불확실

- 최우선적으로 수소경제 활성화 로드맵을 기준으로 실증사업을 통한 적절한 수정이 필요함
  · 일본의 경우 `14년 연료전지 로드맵을 `17년 수정하여 다시 발표하였으며, 지속적으로 업데이트 중에 있음

2. 기술 개발의 방향성

□ 세계 수소 관련 실증 도시

○ 각 국가의 로드맵 작성을 위한 실증사업이 다양하게 이루어졌으나, 대표적인 도시가 존재함

표 2.35. 각국의 대표 수소사회 구축 실증도시

	미국	일본 (`14 ~)	유럽 (`19)	한국 (`19)
대표 실증도시	캘리포니아 주	키타큐규	영국 애버딘, Leed시 덴마크 롤랜드	울산
내용	친환경차량 도입에 따른 수소 교통 구축	부생수소 활용을 통한 수소 타운	애버딘: 풍력+수전해 Leeds: 파이프라인 덴마크: 그린수소, 연료전지	- 파이프라인 - 연료전지

○ 각 국가의 대표 실증도시를 통해서 지속적인 data 창출과 브랜드 가치화가 되는 긍정적인 요소가 발생

- 키타큐슈는 최초의 종합 수소 타운으로서 아직도 세계적으로 유명하며, 타 국가에서 수소 로드맵 구축시 반드시 사례로 드는 상황임
- 에너팜 실증 사업은 일본 가정용 연료전지에 대한 수용성 확보를 통해 시장 활성화까지 이어질 잠재적 가능성이 풍부함. 현재 전 세계 가정용 연료전지 보급 1위이자 세계 시장 1위를 기록함
- 네널란드의 HyStock과 영국의 Leeds City Gate 프로젝트는 유사한 내용의 프로젝트로 유럽 로드맵상의 파이프라인 활용에 대한 근거로서 활용되고 있음
- 미국 캘리포니아는 현재 최대 수소 자동차 보급 현황을 가지고 있으며, 국가들이 수소 교통을 위해 벤치마킹하고 있음. 일본 토요타, 닛산, 혼다와 한국 현대 자동차의 기술력 대결의 장이 되고 있으며, 수소충전소 표준화 등이 이루어 지고 있음

○ 일본은 실증사업을 통해서 자국의 경쟁력을 확보한 후 수소 사회 로드맵을 구축함으로써 자국 시장내 외국 자본 유입시 자국 산업에 유리한 측면이 있음

- 현재 국내에서 수소 활성화 로드맵에 따른 수소사회 구축시, 가정용 연료전지와 자동차분야는 일본과 힘겨운 자웅을 겨루어야하며, 발전용 연료전지는 미국 불룸에너지와 자웅을 겨루어야 함
- 기본 인프라 분야의 기술, 700 bar내외의 압축기, 충전용 dispenser 등을 포함한 수소 충전소, 수소생산기술, 이송 기술 등이 부족하여, 해외 기업과의 힘겨운 겨루기가 예상됨

○ 자국 내 기술력 확보를 위해서는 실증사업의 토대를 제공할 수 있는 기술 개발의 장으로서 수소 도시에 대한 선정이 반드시 필요함

- 국내의 기본 인프라 기술, 수소자동차, 연료전지 기술력 향상을 위해서는 개별 기술이 아닌 시스템적으로 효율 평가를 통해서 개선을 해야 할 필요가 있음
- 이는 각 기관별로 기술에 대해서만 초점을 맞추고 개발하고 있기 때문에 이상적인 조건에서 평가되는 것으로 기술의 신뢰성 확보에는 한계가 존재함
- 일본의 에너팜 프로젝트를 벤치마킹하여 현 단계에서 기술의 신뢰성 확보와 시스템적 효율 평가를 위해서 실증 수소도시 구축 전략을 추진할 필요성이 높음

□ 국내 수소 관련 실증 도시 추진 전략

○ 국내 수소 도시를 실증하기 위한 기술 개발 수준이 응용기술인 수소자동차 및 수소 연료전지 수준에 미치지 못하는 것으로 조사됨

– 따라서 수소 시범도시는 듀얼 목적으로 구축되어야 하는 것이 타당함

– (단기) 국내 기술이 강한 분야를 우선 적용할 수 있는 기술실증의 장으로서 시범도시 추진

· 수소 교통 분야는 전세계 온실가스 저감과 수소 경제 활성화의 핵심 분야이며, 또한 국내 수소 관련 산업 중 핵심 기술을 소유한 분야이므로 우선 추진하는 방향으로 전략 도출이 필요

· 수소 연료전지 중에서 PEMFC를 주도로 연료전지 발전 사업을 위한 시범도시 구축을 추진함. 단, 현재 수소 연료전지 발전은 상업화 단계에 있으며, 대전, 부산 등에서 이미 중앙발전 형태로 사업을 진행함. 따라서 시장 파급효과를 위해 가정에 대한 보급 혹은 건물에 대한 보급 사업을 우선 추진하여, 중앙발전 사업과의 시너지 효과를 볼 수 있는 방향이 타당

– (장기) 타부처 혹은 다른 R&D에서 개발된 기술이 융합될 수 있도록 시범도시를 구축하여 국산화에 대한 비율을 증대

· 수소 충전소 및 분산형 수소 공급 등을 위한 기술개발이 될 경우 대체가 가능한 로드맵을 구성하여 기술개발과 병행전략을 추진

· 장기적으로 가장 문제시 될 것이 분명한 수소 수급 문제를 해결하기 위한 국제 협동/협력 과제를 추진하여, 수소의 제조 및 가격 경쟁력을 확보

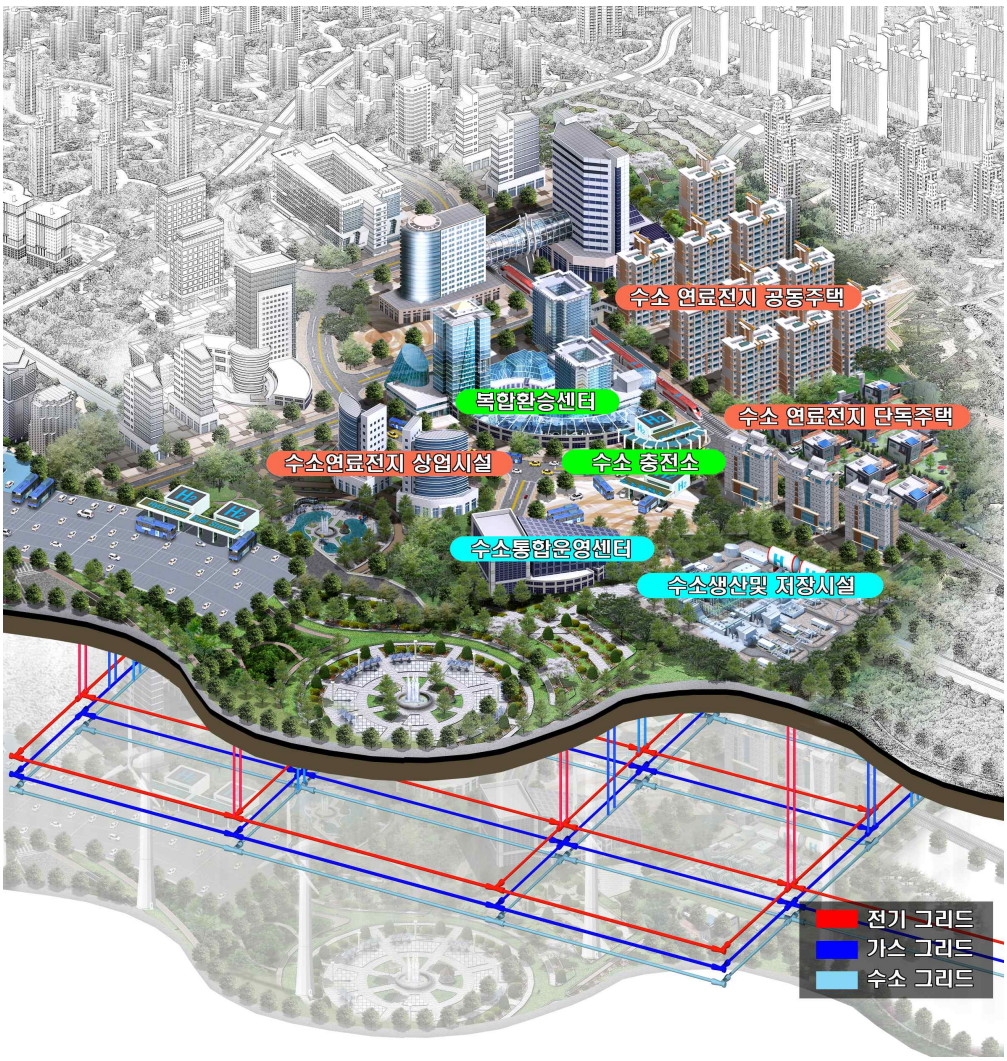
○ 수소 경제 활성화 로드맵에 명시된 목표와 수소 시범도시의 공조를 통한 명확한 목표로서 수정전략 추진

– 추진하고자 하는 목적별 수소 시범도시에 대하여 생산, 저장, 이송 그리고 활용 면에서 기술검증과 국산화 율 등을 확인하고, 기술개발 속도와 함께 상용화 정도를 평가하도록 사업체계구축

– 초기 추진 수소 시범도시는 외국계 기술 도입이 불가피하므로 기술개발 시 성능평가 등이 명확하게 정리될 수 있으며, 이에 따른 현실성 있는 목표 전략을 추진하는 방향으로 추진

제 3 장

국내 R&D 역량 분석



제 3 장 국내 R&D 역량 분석

제 1절 정부 투자 현황 및 계획

1. 국내 기술개발 현황

□ 국내 기술 수준

○ `14년 KISTEP에서 분석한 결과 우리나라의 **전체 수소에너지 분야 기술수준**은 **최고기술 보유국(미국) 대비 77.7% 수준**이며, **기술격차는 3.9년**이며 **연료전지가 3.0년**으로 분석

- 우리나라의 전체 기술수준 및 기술격차는 최고국가(미국) 대비 각각 78.4%, 4.4년으로 평가되고 있으며, 국가별로는 미국(100%), EU(95.5%), 일본(93.1%), 한국(78.4%), 중국(69.7%) 순으로 기술수준이 높은 것으로 평가
- 10대 기술별 수준에서 에너지/자원/극한기술 분야에서 기술수준은 77.9%, 기술격차는 4.6년으로 전체 기술대비 기술수준 및 기술격차에서 떨어지는 기술 수준으로 평가되고 있으나, 에너지/자원/극한기술 분야에서 수소에너지 기술은 기술수준 73.6%, 기술격차는 5.6년으로 나타나 분야내 기술수준이 평균이하이며 기술격차도 큰 상태로 나타남

○ 녹색기술 R&D 성과 관리 및 기술 수준 향상 전략 수립을 지원하기 위해 녹색기술 분야별로 기술 수준 및 격차 등을 조사 · 분석 (`15년 녹색기술수준조사)

- 고효율 수소제조 및 수소저장기술 조사 결과 기술수준은 77.5%~80.0 사이에 분포 (평균 78.9%)

*** 화석연료 기반 수소제조, 물분해기반 수소제조, 물리적 수조저장, 화학적 수소저장 등 4개의 항목을 조사**

· 화석연료기반 수소제조기술 80.0%, 물리적 수소저장장치 80.0%, 물분해 기반 수소제조기술 77.5%로 나타났음

- 차세대 고효율 연료전지시스템 5개 종류에 대한 기술력 조사 결과 PEMFC 시스템 83.8% 인 반면, 기술수준이 상대적으로 낮은 기술은 SOFC 시스템 73.4%으로 조사됨

· 기술격차는 4년 이내로 조사되었음

○ 기술수준평가 요약 및 시사점

- KISTEP 기술 수준평가에서 수소에너지 기술은 73.6% 기술격차 5.6년
  · `12년에 비해 기술수준과 기술격차가 최고기술수준에 비해 더 벌어짐
  · 수소전기자동차기술이 속하는 환경 친화 자동차 기술은 기술수준 82.8%, 기술격차 3.3년으로 상대적으로 높은 수준
- GTC의 녹색기술수준조사에서 수소기술은 기술수준 78.9% 기술격차 3.9년, 연료전지는 기술 수준 81.2%, 기술격차 3.0년으로 나타남.
  · 수소기술의 기술경쟁력이 연료전지기술에 비해 상대적으로 취약하고 기술격차도 벌어지고 있는 상황임.
  · 수소인프라와 관련된 주요 부품인 압축기, 냉동기, 디스펜서, 밸브류, 저장용기 등 대부분 수입에 의존하고 있으며 수소제조/저장, 수소연료전지 기술에 비해 더 낮은 경쟁력을 보일 것으로 예상됨
  · 수소제조/저장 기술, 수소인프라에 대한 기술 개발 투자를 통한 경쟁력 추격과 연료전지 및 수소전기차에 대한 꾸준한 지원을 통한 경쟁력 회복 필요

□ 국내 R&D 현황

○ **(과기정통부)** 1989년 당시 과기처의 지원을 받아, 한국에너지기술연구원이 연구총괄하여 수소관련기초연구(열화학/광화학/생물학적 수소생산, 수소저장, 안전기술 등 9개 과제)를 대학 및 연구소와 공동 수행하였으나 1단계(1989-92년)의 연구지원 (총 약 3.5억 원 규모)으로 중단된 이후 G7 과제에 채택되지 않음에 따라 산업부로 이관됨

○ **(미래부)** 1999년 새천년기획조사연구를 통해 수소에너지분야를 유망기술 후보로 선정, 수소에너지의 중요성을 인식하였으며, 2000년 “수소제조 기술개발 기획연구”를 거쳐 “고효율제조기술 개발사업”을 광화학수소, 생물학적 수소, 열화학적 수소 등 3개 분야에 대해 기술 개발을 시작함. “고효율수소제조개발사업(2000.10- 2005. 9)”을 3년간 25억 원을 투입한 후 2003년 9월 조기종료하고, 이 사업내용을 포함시켜, 2003년 10월부터 “21세기 프론티어사업”으로서, 9년 6개월간 연 1백억 원 규모의 투자 계획으로 “고효율 수소에너지 제조저장이용기술개발사업단(이하 수소에너지사업단)”을 출범시켰으며, 2013년 9월 종료후에도 표 3.1과 같이, 요소기술 분야에 지속적인 지원을 실시

표 3.1. 미래창조과학부의 대표적인 연구개발 사업 내용

사업명	사업기간 및 예산	내용
고효율 수소에너지 제조 저장 이용기술개발사업단 (수소에너지사업단)	2003.10~2013.3 국비 870억원	– 열화학, 광화학, 생물학적 수소제조 성능향상 – 금속 수소화물 및 나노재료 등을 이용한 수소저장기술 개발 – 리니어동력/발전(5kW) 및 수소센서 고성능화
자기냉각액화물질 사업단	2011~2016 2014년 40.3억원 2015년 42.3억원	수소액화기술, 액화물질 저장용기, 액화용기 건정성 평가 및 안전, 수소저장용 수소차단층,자기냉각재료 및 기술개발
차세대 수소에너지 원천기술개발	2015~2020년 총140억원 내외	– 세계 최고 수준의 수소생산 원천기술 확보 – 차세대 고용량 수소저장 원천기술 확보
수소융복합스테이션 신뢰성 측정표준기술개발	2017~2025 연 24억 내외	수소에너지의 민간보급과 안전한 수소사회 건설을 목표로 수소융복합스테이션 핵심 부품·소재 신뢰성 확보를 위한 측정표준 기술 개발
시장 보급형 고효율/컴팩트 가압 고순도 수소생산 유닛 집적화 설계기술 개발	2017~2022, 연 20억원내외	– 용량 : 500 kg/day, 개질효율 : 75% HHV 이상 – 고효율/컴팩트 반응기 및 흡착탑 모듈 원천설계 – 전처리, 개질 및 정제용 촉매 및 흡착제 원천소재 국산화 설계 – 열 및 시스템 통합 고순도 수소생산 유닛 최적구성 및 엔지니어링 설계 패키지
신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술	2016~2022 40억 내외 (4+3)	– 다차원 산화물 기반 양방향 중온 수전해기술 – 폐기물 이용 고온 스팀 생산 기술 – 신재생에너지 하이브리드 운영 고도화 기술 (다부처사업: 과기정통부,산업통상자원부, 환경부)

○ **(산업부)** 1988년부터 시작된 산업부의 대체에너지기술개발사업으로 수소분야의 연구지원

– 2000년대 이전의 대학중심 기초연구에서, 2000년 이후는 단기실용화위주로 개편

– 수소연료전지사업단을 2004년 출범시켰으며, 미국이 주도하고 창설한 IPHE 뿐만 아니라 IEA-HIA에도 가입하는 등 수소연료전지 분야의 연구개발에 중점

– 수소충전소 및 연료전지자동차 보급계획에 맞추어 수소충전소 관련부품, 설계기술개발로 가격 저감을 위한 기술을 확보하여, 우리나라에 적합한 수소충전소 보급사양을 개발하고 수소충전소 국산화비율을 향상하는데 중점

– `19년 대형 추출수소를 기반으로하는 수소생산기지 구축사업 등을 발주함으로써 본격적인 수소 R&D를 실시

· **(거점형 중·대규모 수소생산기지)** 천연가스 공급망에 300~ 1,000N㎥/h 이상급 수소 추출기를 구축하여 수소 대량 생산을 목표로 함. 수소 생산 후보지 : 가스공사 정압관리소 (142개소)를 대상으로 하며, `19년 1기를 우선 구축하고, 수소수요를 감안하여 연차적으로 확대하는 사업임

· **(분산형 소규모 수소생산기지)** 수요처 인근 도심지 LPG·CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등에 300N㎥/h급* 수소 추출기 구축하는 사업으로, 도시가스 배관망을 활용하여 추출수소를 생산하고, 권역별로 충전소에 공급하는 Mother station으로 운영

***`19년 3개(총 150억원) → 수소차 확산, 충전소 구축 등과 연계하여 연차적으로 확대**

표 3.2. 통상산업자원부 수소분야 연구개발비 지원실적 (`10~`18) (단위 백만원)

연도	`10	`11	`12	'13	'14	'15	'16	'17	'18
연구비	2,881	3,499	1,850	4,460	2,250	5,100	9,900	10.800	9.800

(자료: 에너지기술평가원 신재생기획실 자료)

○ **(국토교통부)** 국토교통부는 액화기술개발 연구단을 출범하여 본격적으로 수소기술개발을 추진하고 있으며, 수소도시 실증사업에 대한 기획을 추진함으로써 수소의 시스템화를 추구함

- 수소 버스 및 수소 철도에 대한 기술개발에 대한 기획도 실시되고 있음
- (수소 액화 기술개발 연구단) 정부 연구비 27,840 백만원의 재원을 통해 수소액화플랜트 공정기술, 수소액화핵심설비, 저장탱크 기술의 국산화에 중점
  · 핵심적인 기술인 냉매 혹은 냉각기술등의 개발이 아닌 외부 냉열 활용하는 공정기술로 개발이후 적용성에 대해 제한적인 한계점이 있음
- 실증사업 위주로 `20년 이후 지속적으로 R&D를 실시할 계획 하에 있음
- 별도로 재정사업을 통해 `19년 내에 3개의 수소시범도시 구축사업을 실시하고자 발표함

○ **(바이오수소)** 해양수산부의 지원으로 진행되는 해양생명공학사업의 일환

- KIOST가 2009년부터 "해양 고세균 이용 바이오수소 생산 실용화 기술개발"을 주관으로 연구 개발을 수행.
- 2017년 6월부터는 (주)경동엔지니어링의 주관으로 바이오수소 생산 데모플랜트를 산업현장에 설치하고 부생가스를 공급하여 수소생산기술을 실증

□ 시사점

○ 수소 활성화 로드맵이 발표된 시점에서 기반 기술에 대한 R&D를 시작한 상황으로 1차 목표 시기인 `22년 기준으로 국산화율을 100%에 근접하기는 어려울 것으로 예측

○ 수소의 기술개발은 원천 혹은 핵심 기술 쪽에 치우쳐 있어 수소 로드맵내 기술 혹은 공정 실증에 대한 R&D는 비교적 찾기 어려움

- (수전해기술) EM 코리아, 엘켐택이 실증사업을 진행하였으며, 후속으로 `19년 4월 과정부에서 추가 공고되어 효율성이 강화된 기술실증을 시작
- (개질기술) JNK 히터사에서 500 kg/d 급을 실증
- (저장기술) 250 bar상용화되었으나, 수소 자동차용으로 현대자동차가 700 bar 저장 기술 소유하고 있으며, 현재 350 bar 내외의 저장 기술이 `20년 12월까지 기술 개발 중에 있음
- (이송기술) 파이프라인이 울산 수소시티을 통해서 검증되었으나, 저압용으로 20 bar이내임. 튜브트레일러는 상업화에 있으나, 250 bar의 튜브트레일러임

○ 수소의 생산, 공급, 활용까지의 시스템 적인 실증사업은 전무하나, 발전용 연료전지 사업, 수소충전소 사업은 산업으로서 적용한 경험을 바탕으로 시범사업 전략을 구축해야 함

- (수소충전소) 이미 350 bar 충전은 국산화가 되었으나, 현재 시장 현황은 700 bar내외이며, 이는 외국계 기업 기술에 의해 실증화 되었음
- (수소 연료전지 발전) 일본, 미국과 기술 경쟁 수준이나, 대형 연료전지 발전은 국내 기술이 앞선 것으로 평가될 수 있음
- 따라서, 분야별 강점 혹은 경험이 확보된 응용기술 위준의 시스템적 실증사업 추진이 필요함

○ 지금 수소 경제 활성화를 위한 정책적 방향성을 위한 단기적 목표 달성을 위해서는 국산화 기술과 시스템적 보완을 위한 기술 융합의 방향성이 중요

- (기술개발 연계) 현재 산업부를 통해서 개별 기술에 대한 실증형 R&D 계획이 지속적으로 발표되고 있음. 다만 제한된 기업 인프라로 인하여 파급효과가 미비해질 가능성이 농후함.

- 일본 사례를 벤치마킹하여 단일 기술개발이 아닌 기술간의 연계를 통한 시스템적 효율 평가와 보완책을 마련
- (시스템) 통합 시스템으로서 발주된 사례는 아직 없으며, `12년 에너지 관리공단에서 수소타운 시범사업을 울산시와 함께 추진함
- 결과로 CO2 감축 444.15 ton, 전력비 절감 세대별 857천원 등의 효과를 거두었으나, 초기 2년간의 가동률에 비해 후반 3년간 가동률이 현저하게 감소
- 국내 연료전지 내구성 혹은 수소공급체계 등의 약화 등이 의심되므로 이러한 장기적인 실증과제를 통한 기술력 보완이 시급

제 2절 국내 기술 역량 조사 및 분석

1. 논문 분석

□ 논문분석

ㅇ 논문분석 조건

- 수소 관련 전세계 모든 논문을 분석하기 위해 다양한 방식을 검토하였으나, 너무 많은 수로 인하여 조건을 한정지어 정리하였음
- 첫 번째 제목에 정확하게 관련 Keyword가 포함된 경우만 정리하였음
- 두 번째 모든 분야 보다는 핵심 분야에 대해서 한정지었음. 즉, 연료전지, 수소자동차, 수소 생산 중 추출수소, 수전해, 물분해, 바이오메스 생산, 수소 저장기술 중, 금속저장, 액화저장, LOHC 등임
- 세 번째 Web of Science, RISS, Scopus를 이용하여 분류함

□ 국외논문

ㅇ 수소 연료전지

- 수소 연료전지를 분야별로 정리해서 연구 동향을 살펴보면 1990년대 후반부터 Molten carbonate fuel cell (MCFC)에 대해 활발히 연구가 진행되다가 2000년대 중반부터 Phosphoric acid fuel cell (PAFC)에 대해 연구가 확대되었고 2010년도에 접어들면서 solid oxide fuel cell (SOFC)에 대한 연구가 많이 진행되는 것을 확인할 수 있음.
- 논문 편수로 보았을 때, SOFC의 연구가 가장 많았고 MCFC가 그 다음 순서인 것을 통해 전 세계 연구자들이 가장 많이 연구한 분야는 연료전지 내에서도 SOFC인 것을 확인할 수 있음. 이는 SOFC의 높은 에너지 효율성에 기인하는데 이러한 SOFC의 장점을 확보하면서 동시에 SOFC의 단점인 높은 온도 운전으로 인한 스택 열화, 전극 열화와 같은 문제를 해결할 경우 연료전지의 전체적인 효율 향상에 크게 기여할 수 있기 때문임.
- MCFC와 PAFC는 여전히 연구가 많이 진행 중이지만 SOFC에 비해서는 논문의 개수가 적게 나타나는데 이는 기술이 포화 수준에 도달하면서 이제는 연구 투자가 활발히 이루어지지 않기 때문으로 분석됨.

- 연료전지 연구현황은 차기 연료전지 기술 플랫폼이 SOFC로 전환할 것을 의미하고 있으나, 국내 기술은 전반적으로 PAFC, PEMFC에 있기 때문에 빠른 시간 안에 SOFC의 핵심기술 등을 확보해야 할 것으로 사료됨

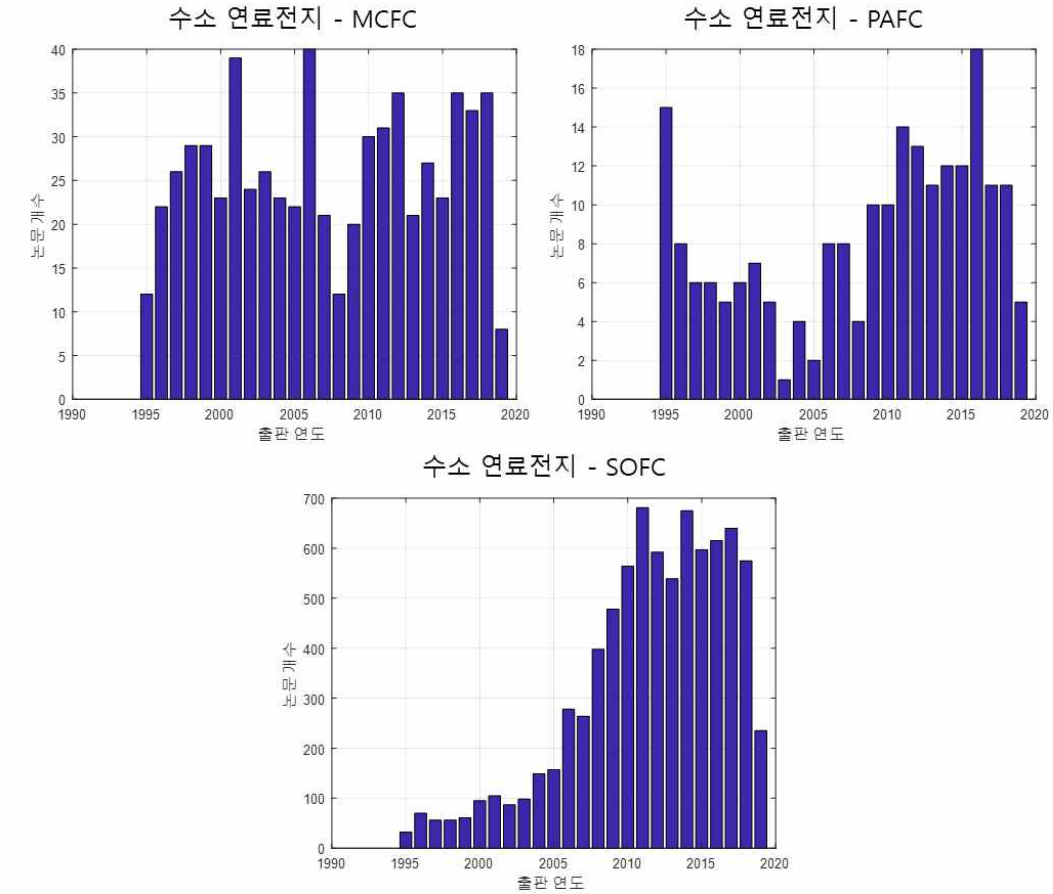


그림 3.1. 연료전지 논문 동향

○ 수소 자동차 관련

- 수소 자동차는 수소 연료전지나 수소 생산과 비교하면 상대적으로 논문의 개수가 적은데 연료전지나 수소 생산/저장 분야의 논문들로 함께 통합되어 정리되므로 분리해서 구분하기가 어렵기 때문임
- 수소 자동차 분야의 논문은 주로 스택 개발 쪽으로 집중되어 있으며 2010년 이후로 논문의 개수가 지속해서 증가하는 것을 통해 수소 자동차 연구 개발이 점차 확대되는 것을 확인할 수 있음.
- 또한, 수소 자동차의 효율적인 운전을 위해 운전장치나 전자장치에 관한 연구도 소규모이기는 하지만 진행되고 있으며 향후 수소 자동차 시장이 점차 확대될 경우 이러한 연구 개발 수요가 계속해서 증가할 것으로 전망됨.

- 따라서 수소 자동차 분야에서는 연료전지 스택이 가장 중요하고 이를 선점하는 방향으로 연구가 진행되고 있음을 의미함.

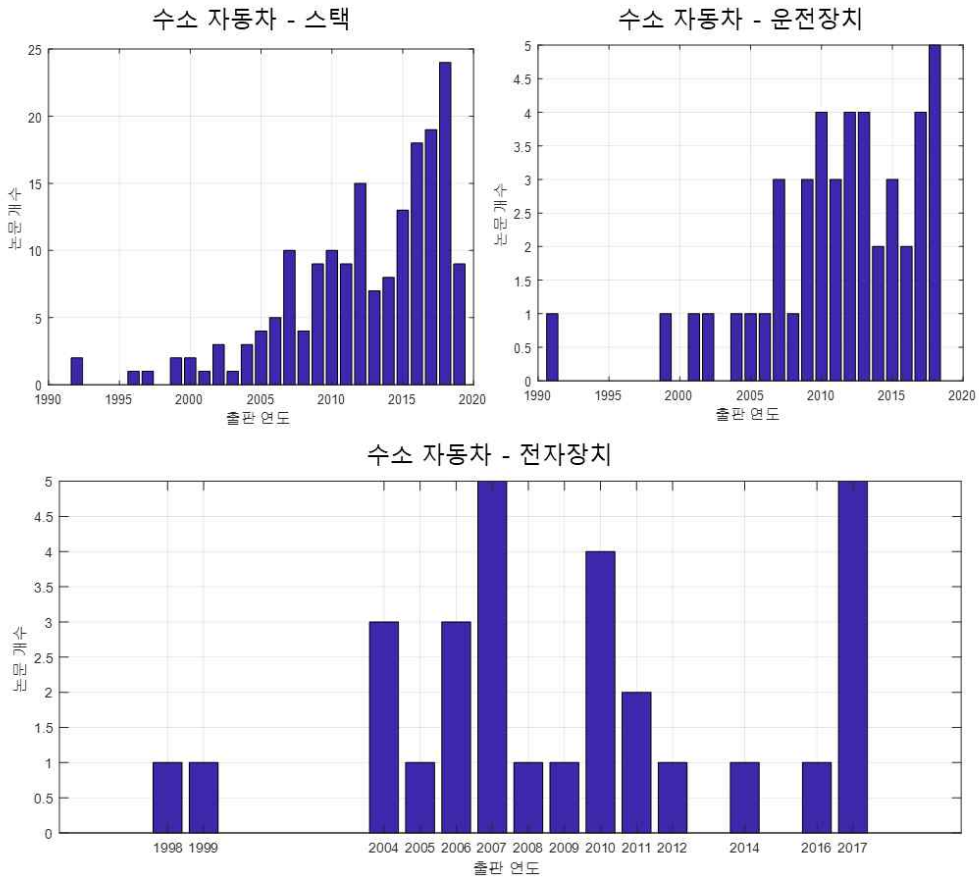


그림 3.2. 수소자동차 관련 논문 동향

○ 수소 생산

- 수소 생산에 관한 연구는 2000년대 이후로 활발히 진행되었는데 주로 천연가스 개질에 관한 내용으로 진행되었으나, 이미 상용화 된 기술이므로 논문 수는 많지 않음. 이후 `10년 이후에 수전해 기술을 중심으로 수소 생산 방식에 관한 연구가 크게 확대됨

- 논문의 편수만 보면, Water splitting 방식과 biomass 수소 생산에 대한 방식이 최근에 급격하게 증가한 것을 확인할 수 있음. 수전해 방식은 이미 1800년대에 시작된 것으로 상대적으로 많은 논문이 이미 발표되어있으므로 Water splitting 방식과 biomass 수소 생산에 대한 관심이 증가한 것으로 판단됨.

- 특히 에너지 캐리어와 친환경 에너지로서 수소의 중요성이 점차 강조되기 시작한 시점과 일치하는데 신재생에너지로부터 수소를 생산하기 위해서는 수전해 방식에 관한 연구, 원천핵심기술이 필요한 Water splitting, 탄소 제로 기술인 Biomass 수소 생산 방식은 모두 기후변화 시대에 적합한 기술로 인정받기 때문인 것으로 사료됨
- Biomass를 이용한 수소 생산 방식도 굉장히 많이 연구되고 있고 2010년 이후로 연구 규모가 크게 확대된 것을 확인할 수 있음. Biomass를 이용한 수소 생산 방식은 아직은 대용량에 적용하기가 어렵다는 단점이 있지만 다양한 리소스에서 수소를 생산할 수 있으므로 상기한 단점을 극복할 방법을 찾는다면 수소 생산 방식을 다변화시킬 가능성을 갖는다는 점에서 의의를 찾을 수 있음.

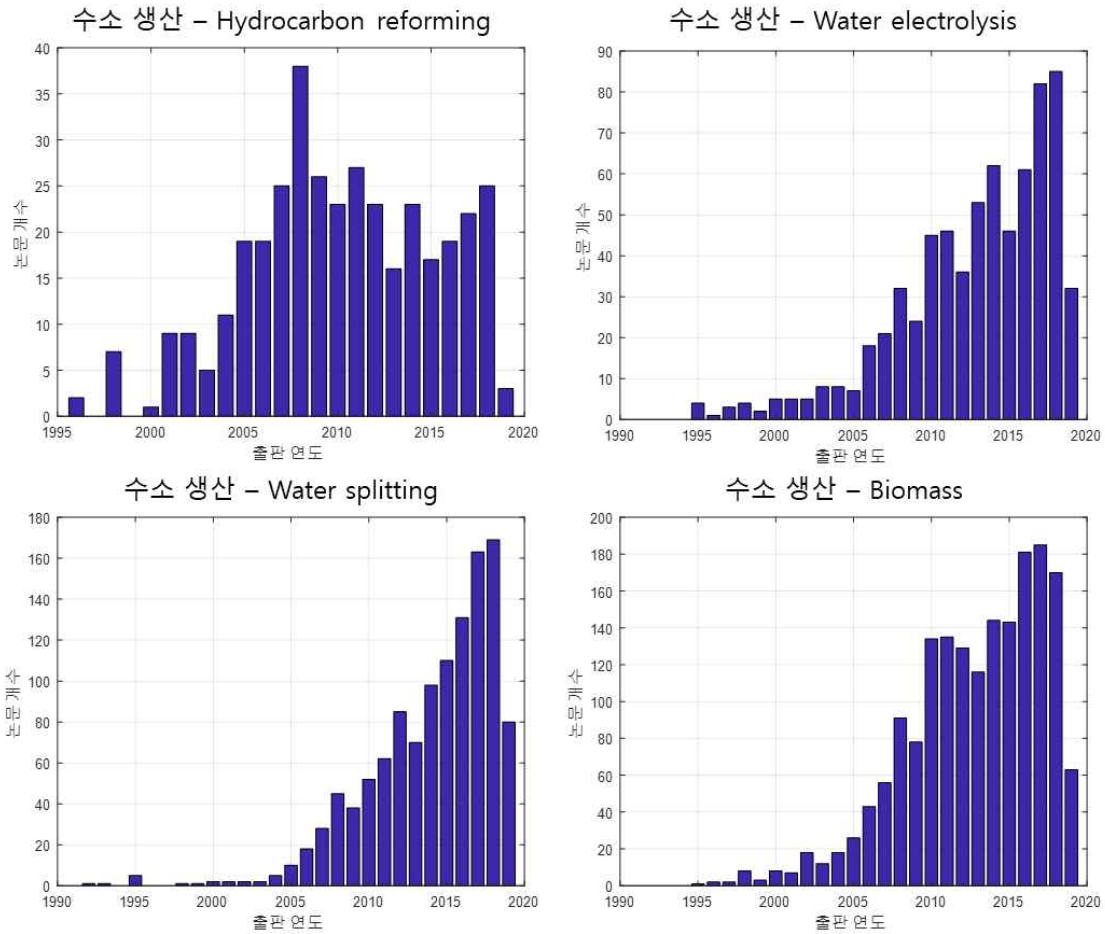


그림 3.3. 수소생산 기술 관련 논문 동향

○ 수소 저장

- 수소 저장은 예전부터 연구자들이 지속해서 연구해왔던 금속저장/합금저장 분야가 가장 논문이 많았고 최근에도 그 중요성은 계속 강조되고 있음. 논문의 개수로 보았을 때, 금속저장 분야는 많은 연구 투자가 진행될 것으로 분석됨.
- 액화수소 분야는 논문의 개수가 상대적으로 적고 2015년 이후에는 그다지 연구 논문이 발표되지 않았는데 이는 액화수소라는 개념 자체는 오래전부터 있었고 현재에도 액화수소의 문제점은 비용 타당성이기 때문에 연구 측면에서는 접근할 만한 유인이 별로 없기 때문으로 판단됨.
- 최근에는 Liquid organic hydrogen carrier (LOHC)가 수소를 저장할 수 있는 매체로 주목받고 있으며 2010년 이후 연구자들에 의해 연구가 진행되면서 점차 연구 규모가 커지는 추세임. 또한, 2018년에 접어들면서 논문의 개수가 급격히 증가한 것을 통해 LOHC 연구의 중요성이 최근에 크게 강조된 것을 확인할 수 있음.

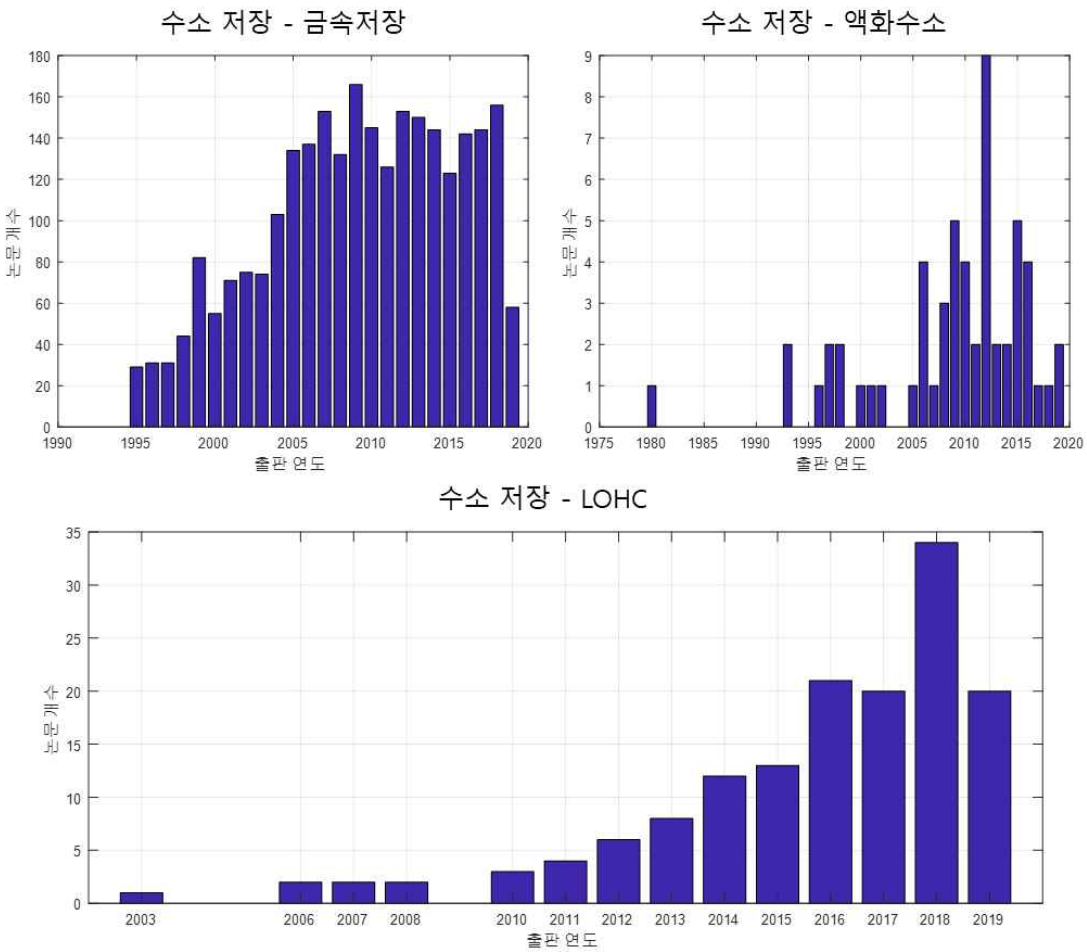


그림 3.4. 수소저장 기술 관련 논문 동향

□ 국내논문

○ 수소 연료전지

- 수소 연료전지 분야의 국내 논문의 경향은 국외 논문과 크게 다르지 않지만 더 SOFC에 치우져져 있음. MCFC와 PAFC 연구는 국외와 다르게 `15년 이후 상대적으로 진행되고 있지 않음.
- 그러나 2010년을 기점으로써 MCFC의 연구 규모가 많이 축소되고 SOFC의 연구 규모가 크게 확대된 것을 확인 가능, 다만 아직 논문의 개수가 많지 않은 점을 미루어봤을 때 세계적인 수준의 연료전지 기술력을 확보하기 위해서는 SOFC의 연구에 더욱 활발한 투자가 필요한 것을 알 수 있음.
- PAFC는 세계 규모에 비해 연구 규모가 매우 작고 2000년 이후로는 거의 연구가 진행되지 않은 것을 확인할 수 있음. 이는 PAFC의 효율이 일반적으로 MCFC보다는 우수하다고 알려졌지만 실제로는 큰 효율 향상을 기대하기 어려운데다 SOFC의 효율이 매우 우수하므로 연료전지 연구자들 대부분이 SOFC 연구에 치중한 것으로 분석됨.

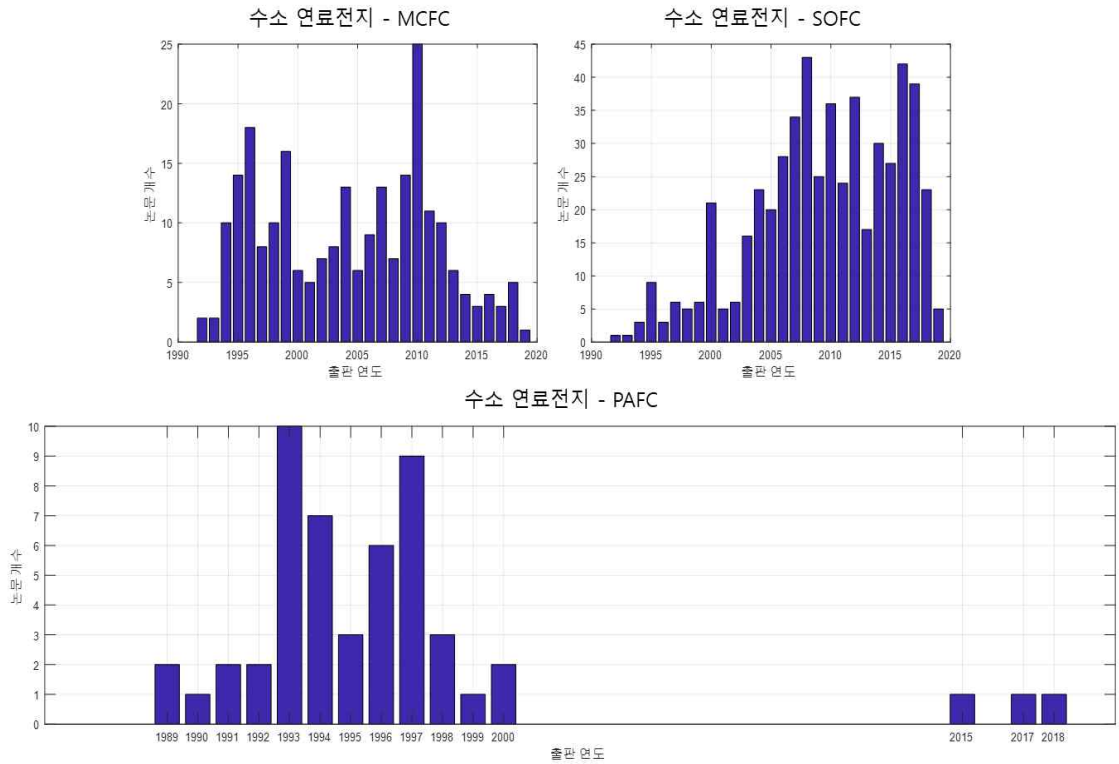


그림 3.5. 국내 연료전지 관련 논문 동향

○ 수소 자동차

- 국내의 수소 자동차 기술력은 높은 편으로 분류될 수 있음에도 불구하고 수소 자동차에 대한 연구 논문의 개수는 매우 적음.

· 스택 5편, 전자장치 3편, 운전장치 5편

- 이는 지금까지 기업체 위주의 상업화 연구가 진행되어 기업 기술력과 관련되므로 외부에 발표가 어렵기 때문에 논문의 개수가 매우 적게 출판된 것으로 분석됨.

- 향후 수소 사회에서 보다 나은 기술력을 확보하기 위해서는 수소 자동차에 대한 원천기술 및 응용기술이 조화를 이루어야 하므로 원천기술을 확보하기 위한 기초 연구가 확대될 필요가 있음.

○ 수소 생산

- 수소 생산 방식에 대한 국내 논문은 국외논문에 비해 미비함.

- 현재 국내 수소 관련 기술이 연료전지, 자동차 등에 치우쳐져 있는 상황을 그대로 반영한 결과로 판단되며, 수소 경제 활성화를 위한 생산 및 공급을 위한 기본 인프라 구축 기술이 부족하다는 현실을 보여주고 있음

- 단, 천연가스 추출기술이 `18년 이후 증가될 것으로 예측되는데, 이는 수소 경제 활성화를 위한 지속적인 정책 방향성으로 인한 것으로 사료됨

- 향후 수소사회로 진입하기 위한 수소의 생산 가격 경쟁력 확보는 필수이므로 수소 생산 방식 국산화가 반드시 필요하며, 아울러 린데, 에너프로덕트 사와의 경쟁을 위해 높은 수준의 기술력이 필요하므로 수소 생산에 대한 연구 투자가 확대될 필요가 있음.

○ 수소 저장

- 수소 저장 분야에서는 1980년대부터 연구되었던 금속/합금 저장 쪽이 가장 우세하고 논문의 개수도 가장 많이 출판됨.

- 그 외에 소규모로 액화수소에 대해 연구가 진행되었고 주로 저장 장치에 대한 해석이나 열전도에 관한 내용이 연구됨.

- LOHC에 대한 연구는 국내에서는 최근에 도입되기 시작하였고 아직 태동 단계이므로 이에 관한 연구를 보다 가속해서 수소 저장 장치에 대한 문제점을 해결하는 것이 급선무임.

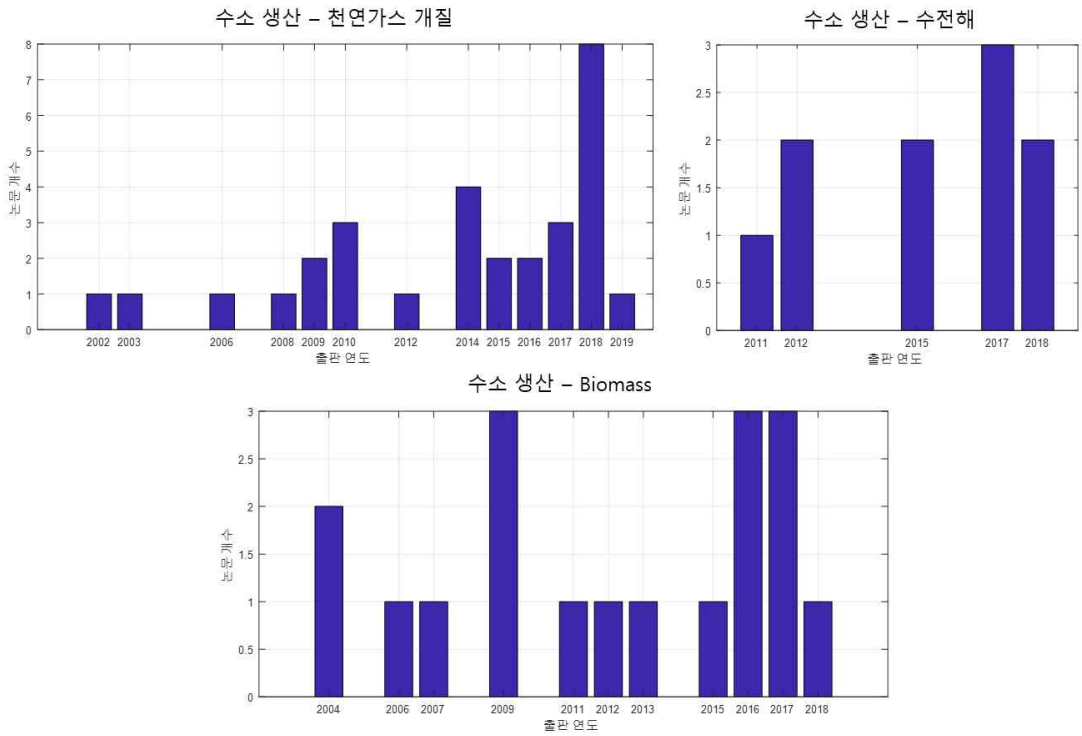


그림 3.6. 국내 수소 생산 기술 논문 동향

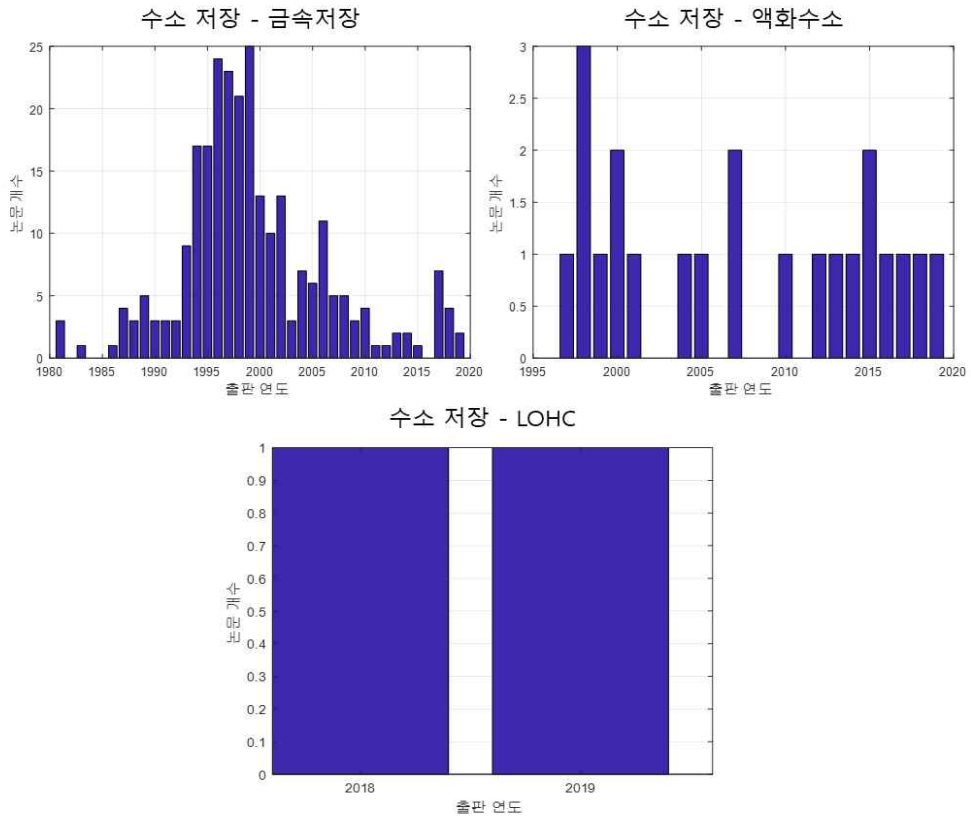


그림 3.7. 국내 수소 저장 기술 논문 동향

□ 국가별 논문 편수

○ 전세계에서 나타난 수소생산과 관련된 논문에서 한국은 4위권을 나타내고 있음

- 1위는 중국이며, 미국, 일본 그리고 한국 순으로 나타남. 유럽은 개별 국가별로는 1,000편 미만이었으나, 수소 관련 대표 국가인 독일, 영국, 스페인 등을 합칠 경우 22%의 논문으로 중국에 이어서 2위임
- 전체 논문 수는 23,185건으로 분석되었으며, 한국은 1,442건으로 분류되어, 약 6%내외를 차지하고 있음

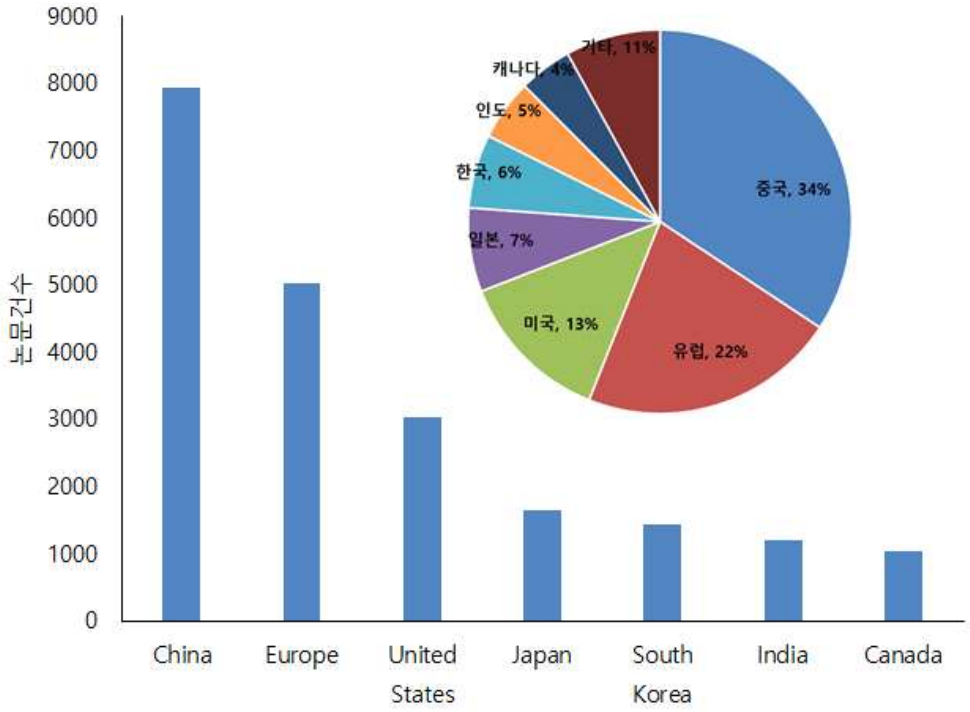


그림 3.8. 국가별 수소 생산 기술 편수 (1,000편이상 국가)

- 발표된 23,185건 중에서 핵심적인 키워드는 Catalysts로 촉매개발과 관련된 논문이 많았으며, 다음으로는 수소 발전과 관련된 키워드였음, Steam Reforming이 3위였으며, Fermentation, Water Splitting, Electrolysis 순이었음
- 국내 논문 1,442편 중에서 핵심 키워드는 역시 촉매였으며, 수소 발전, Steam Reforming, Fermentation, Water Splitting, Electrolysis 이었으나, 상대적으로 electrolysis 가 적은 비중을 차지하고 있음 (약 6%)

○ 수소저장과 관련된 논문은 13,166편으로 한국은 7위권을 나타내고 있음

- 1위는 중국이며, 미국, 일본, 독일, 인도, 프랑스 그리고 한국 순으로 나타남.

- 1위는 중국이며, 미국, 일본, 독일, 인도, 프랑스 그리고 한국 순으로 나타나고 있으며, 생산기술에 비해 저장 기술의 전체 편수가 상대적으로 적어 약 57%를 나타냄. 실질적으로 유럽은 전체 논문이 35% 비율을 나타내고 있으며, 이는 상대적으로 생산에 비해 저장기술에 대한 관심도가 높음을 알 수 있음.
- 한국은 613편으로 생산기술에 비해 42.5% 수준임. 이에 비해 호주는 생산기술 568편, 저장기술 512편으로 상대적으로 저장기술에 대한 관심도가 높음.

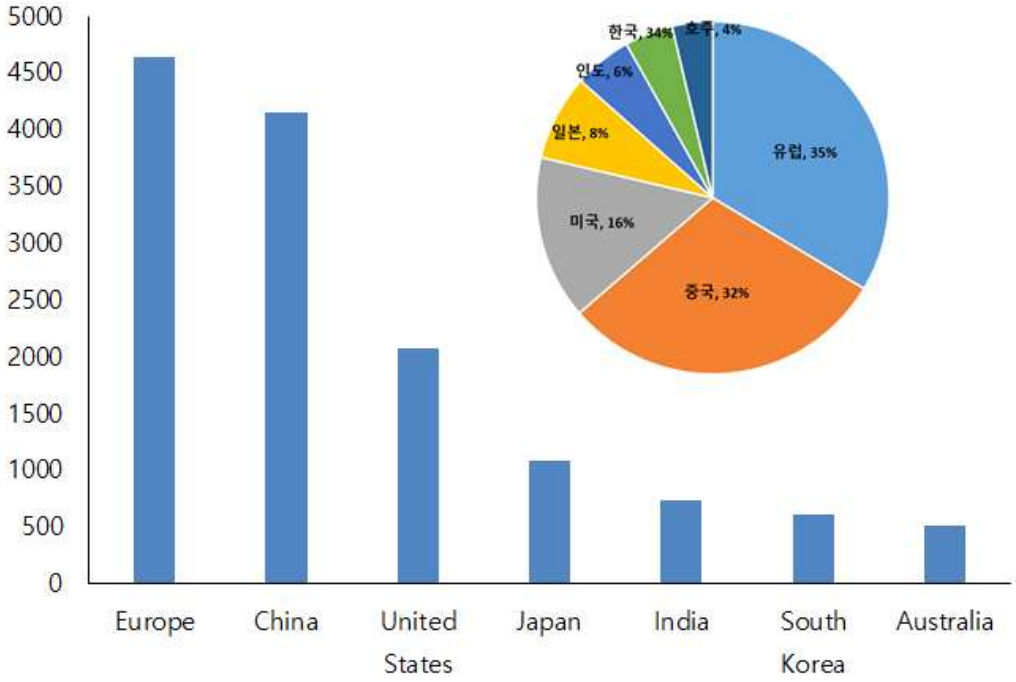


그림 3.9. 국가별 수소 저장 기술 편수 (500편이상 국가)

- 위 상위 7개의 연합 혹은 국가가 저장기술 전체 논문을 좌우하고 있음
- 7개의 국가에서 발생된 논문을 합하면 전체 논문의 105%를 나타내고 있음. 이는 중복 즉 국가간 국제 협력 논문이 많다는 것을 의미함
- 전체 논문의 주제별로는 금속 수화물을 주제로 하는 논문이 대부분을 나타내고 있으며, 저장 합금, 탈수소, 그리고 촉매반응 등이 핵심이었음.
- 한국도 유사한 결과로 금속 수화물, 흡착 및 탈착 촉매 반응 등에 대한 연구가 활발한 것으로 분석됨

○ 수소연료전지와 관련된 논문은 39445 편으로 한국은 4위권을 나타내고 있음

- 1위는 중국이며, 미국, 일본, 한국 순으로 나타나고 있으며, 상대적으로 모든 분야에서 가장 많은 논문이 발표되는 분야임

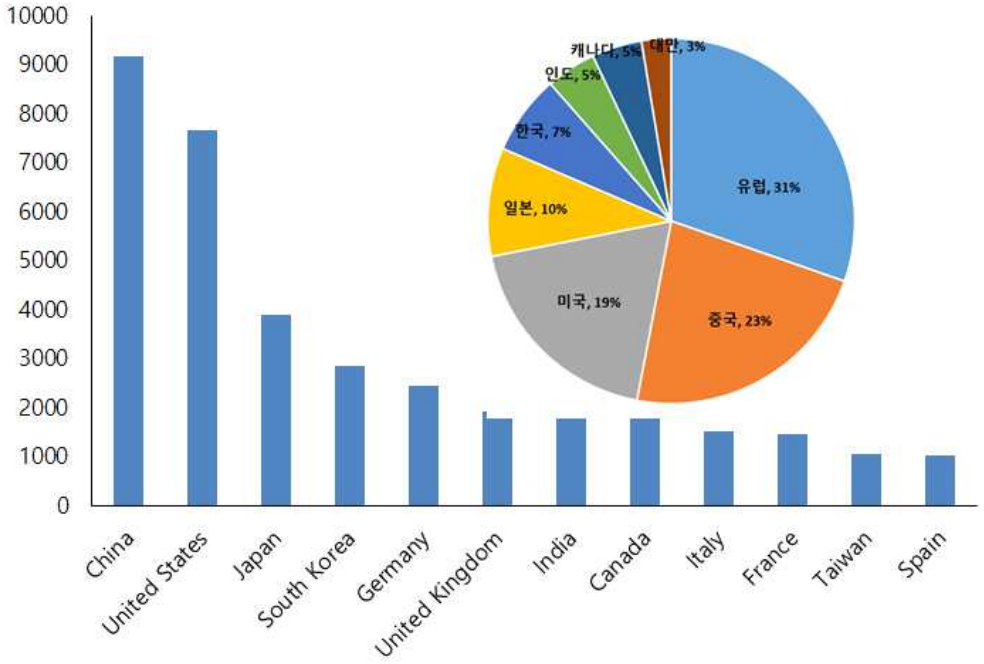


그림 3.10. 국가별 수소 연료전지 기술 편수 (1,000편 이상 국가)

- 유럽 전체의 비율은 31%로 연료전지 분야에 대한 관심도가 높음을 알 수 있으며, 국각별로도, 독일, 영국에서 많은 관심이 있음. 특히 대만에서 다른 분야 보다는 연료전지에 더 많은 관심을 가지고 있는 것으로 분석됨
- 상대적으로, 중국의 관심도가 떨어지는 것으로 분석되는데, 이는 타 국가에서 생산이나 저장 등의 기반기술 보다는 응용분야에 더 많은 관심을 가지기 때문인 것으로 분석될 수 있음
- 핵심 연구분야는 전극과 촉매, 그리고 PEMFC에 대한 관심이 높으며, SOFC에 대한 관심도가 조금씩 증가하고 있음
- 한국은 총 2,860건이 발표가 되었으며, 대부분의 주제가 전극, PEMFC, 전해질, 촉매에 집중되며, 해외와 유사하게 SOFC가 지속적으로 상승하고 있음

○ 수소자동차 및 이송기술

- 총 발표된 논문수가 100편으로 타분야에 비해 미비함. 이는 Fuel Cell 자체의 키워드에 전체가 중복될 수 밖에 없는 분야이기 때문임
- 미국이 32건으로 1위이며, 한국이 13건으로 2위, 그리고 중국과 일본이 각각 11편씩 발표를 하고 있음.

- 유럽은 독일 9건, 프랑스 4건, 영국 5건, 스위스 3건, 이탈리아와 네덜란드 각 2건 등으로 나타나고 있으며, 이는 미국보다 낮은 숫자임.
- 미국은 현재 가장 큰 수소자동차 시장이므로 현지 기술 개발이 상대적으로 활발한 결과를 반영한 것으로 분석될 수 있음
- 이송기술이나, 분배 기술에 대한 논문은 찾기가 어려웠으며, 유사한 키워드로 분석할 경우 대부분이 다른 분야와 중복이 되었음. 따라서 이 분야는 단독으로 논문이 발표되는 것 보다는 타 분야와 혼합되어 발표되는 것으로 분석될 수 있음

□ 년도별 한국의 발표 편수

○ 수소와 관련된 논문이 `08년이후 폭발적으로 증가하고 있는 패턴이 그림 3.11(a)에서 나타나고 있음

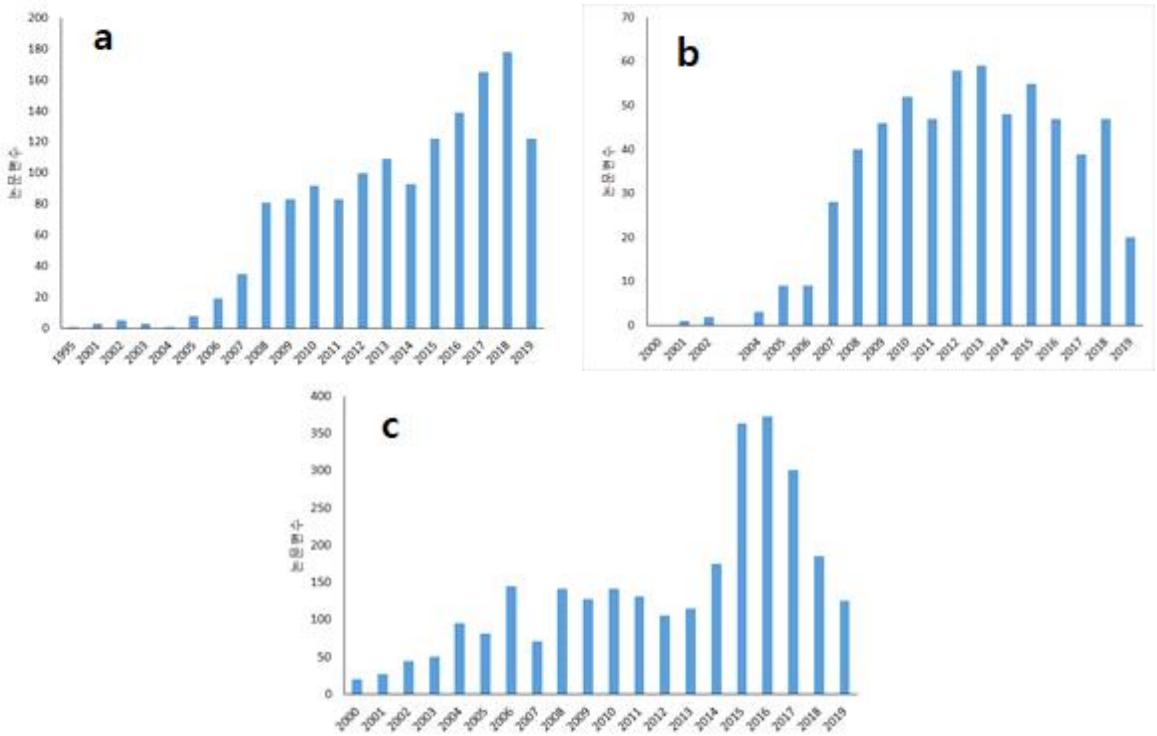


그림 3.11. 한국의 연도별 논문 편수 (a; 생산기술, b: 저장기술, c: 연료전지 기술)

- 상대적으로 가장 많은 연구는 연료전지 분야였으며, 저장기술이 가장 적은 관심을 가지는 분야로 조사되었음.
- 대부분의 논문이 `10년내외로 폭발적으로 증가하는 경향을 보이고 있지만, 연료전지는 `00년부터 구준하게 연구되었음

□ 시사점

○ 수소에 대한 전분야 중에서 수소 연료전지는 PEMFC와 SOFC 분야의 연구가 많이 지속되고 있음. 한국은 연료전지 기술력에서 앞서고 있으나, 상대적으로 약한 분야임. 논문 발표건수는 연료전지 39445 편중 13,515 편이 SOFC 연구로 이 분야에 대한 기술 개발이 가장 활발함을 알 수 있음

○ 저장기술 분야는 금속수화물에 대한 핵심 기술 개발에 초점이 맞추어지고 있으며, 생산기술은 바이오메스 기반 수소 생산기술, 수전해 등이 최근 들어 온실가스 저감과 맞물려 지속적으로 증가되고 있음. 추출기술에 대한 것은 다른 분야에 비해 적게 발표되고 있는데, 이는 상업화된 기술로 상대적으로 관심도가 떨어지기 때문임

○ 모든 분야에서 가장 활발한 움직임을 보여 주는 국가는 중국이며, 유럽연합은 국가별로 독일, 영국 등에서 많은 논문을 발표하고 있음

○ 한국은 모든 분야에서 7위이내의 논문발표 건수를 보여줄만큼 수소에 대한 연구가 활발하게 진행중에 있으며, 수소분야 발표 논문 중 5~7% 내외를 보여주고 있음

○ 수소분야에 있어 실질적인 핵심 Keyword는 촉매라 할 수 있으며, 전 분야에서 keyword 중 수위권을 나타냄. 이는 수소 분야의 모든 활용이 연료전지로 귀결될 수 있으며, 생산과 활용분야의 수소 가격에 촉매가 핵심적인 역할을 하고 있기 때문임

- 한국의 핵심 수소 연구분야가 촉매 분야로 조사됨
- 현재 경제성이 부족한 수소 분야에서 촉매의 개발은 핵심적인 역할을 하게 될 것이므로 지속적인 연구개발이 필요한 분야로 분석되며, 선진국과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서 반드시 요구되는 분야임

2. 특허 분석

□ 수소 연료전지

○ 수소 연료전지는 현재 가장 활발하게 진행되는 분야가 SOFC와 PEMFC이므로 2개에 대해서 키프리스를 이용하여 검색하였음.

- (SOFC) 총 20,095건 중 일본 8,893건, 미국 5,469건 유럽 2,417건 그리고 한국이 1797건이 검색되고 있음. 따라서 세계 1위의 가정용 연료전지 강국으로서 일본이 1위로 검색되고 있으며, 한국은 4위의 특허 실적을 가지고 있음. 그러나 실질적으로 1797건 중에서 1,242건만이 한국 법인 혹은 개인 소속으로 되어 있음
  · 한국의 1,797건 중에서 1,076건이 스택과 관련된 특허이며, 촉매가 포함된 특허가 1,004건임, 전극이 포함된 특허는 1,245건임
  · 년도별 출원 건수를 보면, `05년 이후로 폭발적인 특허 출원을 나타내고 있으며, `10년 이후 수소 분야 중에서 가장 활발하게 특허를 출원하는 분야로 조사되고 있음.
  · 그러나 `15년을 정점으로 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, `18년 11건으로 축소됨. 이는 SOFC의 핵심 기술 출원이 한계에 달하였음을 보여 주고 있음
  · 메이저 플레이어로 LG화학 133건, 포스코 116건, 포항산업과학연구원 29건, 포스코 에너지 19건, 한국에너지기술연구원 113건, 현대중공업 87건, 삼성중공업 52건, 한국과학기술연구원 44건, 한국과학기술원 41건, 기계연구원 31건 등이 있음
  · 메이저 플레이어의 합산이 총 665건으로 출원 및 등록 특허의 53.4% 특히 LG화학, 포스코 계열, 에너지기술연구원 등의 3개사가 국내 특허의 33%를 점유함

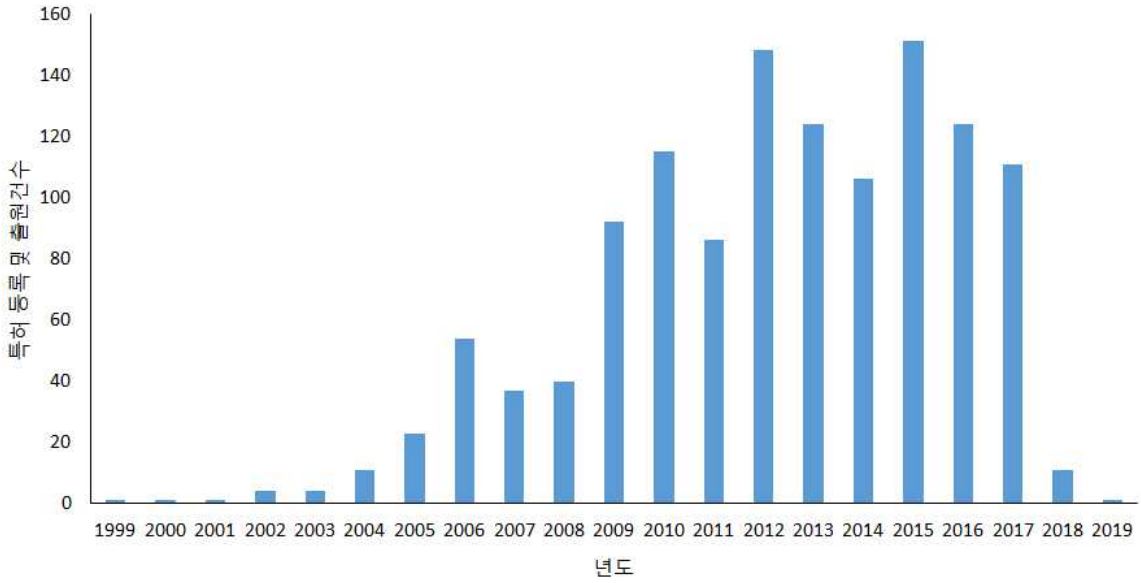


그림 3.12. 국내 SOFC 관련 년도별 특허 출원 및 등록 건수

- (PEMFC) 총 10,088 중 일본 1,667건, 미국 3,662건 유럽 842건 그리고 한국이 1,920건을 출원 및 등록함. 따라서 미국에 이어 2위의 출원 혹은 등록실적을 나타내고 있음.

· 한국의 1,920건 중에서 1,455건이 촉매와 관련된 특허이며, 스택이 포함된 특허가 1,174건임. 또한 전극이 포함된 특허는 1,585건임. 연료전지 특성상 촉매와 스택은 함께 개발되는 경우가 대부분이므로 핵심 keyword로 판단됨
· 한국의 1,920건 중에서 1,752건이 국내 기업 소속으로 타 분야에 비해서 가장 경쟁력 있는 분야로 분석될 수 있음.
· 메이저 플레이어로 현대자동차 273건, LG화학 184건, 한국 에너지기술연구원 82건, 현대중공업 81건, 삼성 SDI 72건, 코오롱 인더스트리 67건, 한국과학기술연구원 60건, 한국과학기술원 53건, 삼성중공업 45건, 삼성전자 42건이 있음
· 메이저 플레이어 합산 특허 수가 959건으로 국내 특허의 약 55%, 특히 3개 메이저 플레이어가 539건으로 총 31%를 소유하고 있음
· 년도별 출원건수는 그림 3.13에서와 같이 `05년 이후 지속적으로 증가하고 있는데 이는 현대자동차 등의 수소자동차 관련 특허 출원과도 밀접한 과녀가 있을 것으로 사료됨. 이는 `16년까지 지속되다가 `17년이후 특허 출원건수가 하락 추세에 있음. `18년은 23건으로 `04년 수준으로 분석되었음
· SOFC와 유사성을 나타내고 있으나 특허 건수가 더 많이 분포하고 있는 것은 수소자동차와 밀접한 관계가 있을 것으로 추측됨

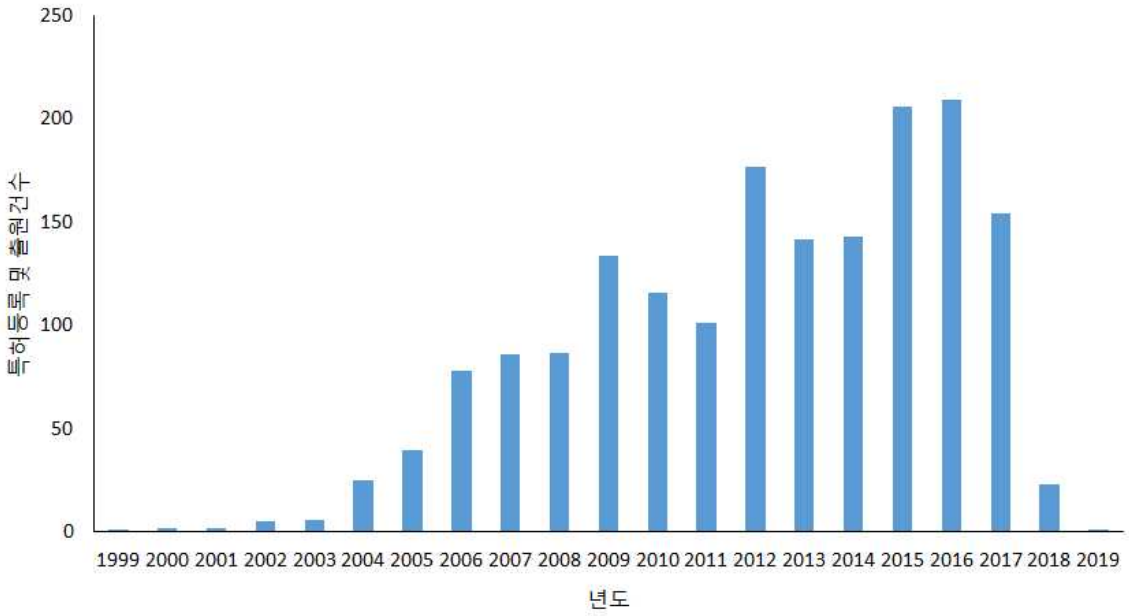


그림 3.13. 국내 PEMFC 관련 년도별 특허 출원 및 등록 건수

- **(분석)** 세계 적인 추세를 볼 때 SOFC에 비해 PEMFC의 특허 수가 약 50% 내외로 가장 활발하게 상업화용 기술로 개발 중인 것이 SOFC임을 알 수 있음. 그러나 한국은 PEMFC에 더 특화되어 있으며, 이는 현대자동차에서 개발한 수소 자동차와 밀접한 관계가 있을 것으로 사료되었음

· 전체 특허의 방향성은 스택, 촉매, 전극임을 알 수 있으며, 다음으로 코팅 등이 핵심 keyword임을 알 수 있음

□ 수소 자동차

○ 수소 자동차 분야는 “FCEV”로 검색할 경우 미국 320건, 일본 272건, 유럽 43건으로 분석되고 있음. 한국은 총 369건으로 연료전지 분야와 달리 상당한 특허를 보유하고 있음을 알 수 있음.

- 국내 특허 분야에서 가장 많은 분야의 특허는 동력전달 장치 (49개)와 관련된 것이였으며, 다음으로 배터리 (39개), 모터 26개, 운전보조장치, 23개, 제동장치 17개, 냉각 장치 14개, 인버터 12개, 주차 장치 10개 순이었음
- 이는 일반 수소자동차의 연료전지 분야를 제외하면, 대부분 핵심 특허 출원이 이 어느 정도 선점되었다는 것을 의미함
- 출원기관 별로 현대기아자동차가 216개의 특허를 소유하고 있으며, 엘지전자에서 42건을 소유하고 있으며, LS 산전이 12건, 모토닉과 현대모비스가 8건 등을 소유한 것으로 조사되어 대부분의 특허를 국내 기업이 소유하고 있는 것으로 조사됨
- 따라서 실질적인 수소 자동차 부품과 관련한 국산화는 일정비율이상 국산화된 것으로 판단되나, 스택 등에 관한 기술 소유가 부족한 것으로 나타남.

○ 연도별 특허 출원 경향을 보면 그림 3.14에서처럼 `09년 이후 특허 출원이 활발하였으며, 실질적으로 `13년 세계 최초의 연료전지 차량인 투싼이 생산된 이후 폭발적으로 출원되어, `16년에 110건으로 정점을 나타낸 이후 줄어드는 경향이 나타남

- 이는 일반 수소자동차의 연료전지 분야를 제외하면, 대부분 핵심 특허 출원이 이 어느 정도 선점되었다는 것을 의미함

□ 수소 충전소

○ 수소 충전소 분야는 “Hydrogen station”로 검색할 경우 미국 54,188건, 일본 35,245건, 유럽 12,811건으로 분석되고 있음.

- 한국은 총 166건으로 미국의 0.3% 수준이나, 실질적으로 충전소와 직접 관계가 있는 특허는 14건이며, 그중 하이리움 사에서 액화수소 충전소 관련 3건 현대자동차가 11건을 소유하고 있음
- 국내 소유의 특허 대부분은 전기차 충전과 관련되어 있으며, 현대자동차가 소유한 11건을 제외할 경우 실질적으로 활용이 가능한 충전시스템 모두는 외국계 충전소임
- 따라서, 시급하게 충전소 기술을 확보해야할 필요성이 있음

○ 현대자동차에서 소유한 충전소 기술자체도, 순수 수소 충전소라기 보다는 수소자동차와 연계된 충전 시스템에 특화되어 있어, 관련 분야의 특허 회피전략을 통한 국내 기술을 빠른 시간안에 개발해야 하는 상황임

□ 수소 생산 분야

○ 수소 생산 분야는 수소 도시 구축과 관계가 있는 수전해, 그리고 추출수소 등 2개에 대해서 분석을 하였음.

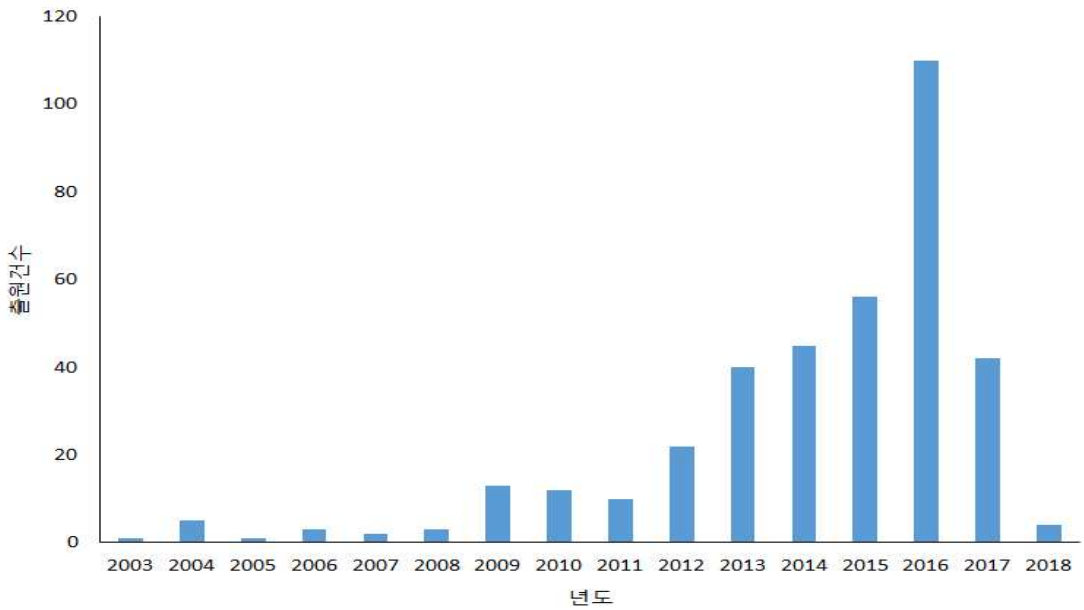


그림 3.14. 국내 수소자동차 관련 특허출원 경향

○ 수전해 특허 검색으로, electrolysis와 hydrogen production 2개의 keyword로 검색했을 때, 미국 27,940건으로 압도적 1위를 나타내고 있으며, 유럽 7,808건, 일본 3,923건으로 조사됨.

- 상대적으로 국내 출원 혹은 등록 건수는 34건으로 조사되어 선진국에 비해 미비한 실적(미국의 0.1% 수준)을 가지고 있음. 그나마도 국내 연구기관 혹은 기업에서 출원한 것은 총 9건으로 에너지 기술연구원 3건, 한국과학기술원, 수력원자력, 전력공사, 연세대등 각 1건, 기타 기업 2건 등을 출원하였음
- 따라서 수전해에 대한 핵심기술은 이미 해외 기업 등이 기 소유하여 틈새를 노리기 어려운 상황임을 알 수 있음

○ 추출기 특허 검색으로, reforming과 hydrogen production 2개의 keyword로 검색했을 때, 미국 48,091건으로 압도적 1위를 나타내고 있으며, 유럽 11,547건, 일본 1,857건으로 조사됨.

- 상대적으로 국내 출원 혹은 등록 건수는 134건으로 조사되어 수전해 기술에 비해서 상대적으로 많은 특허 출원을 한 것으로 조사되었으나, 역시 미국에 비해 0.28% 수준의 미비한 수준임.
- 일본은 수전해에 비해 reforming 기술에 대한 특허가 상대적으로 부족한 것으로 나타나고 있음
- 수전해 기술과 마찬가지로 대부분 해외 기업에 의한 특허이며, 국내는 서울대학교가 13건, 한국과학기술연구원이 4건, 에너지기술연구원이 6건, 한국 해양과학기술원이 8건, 화학연구원이 3건 등 총 47건만이 국내 기관 소유임

· 일반적인 핵심 연구 방향으로 특정 물질, 개미산, 에탄올 등의 물질로부터 개질을 통한 수소 생산, 메탄 생성과 개질, 막 제조 등이 있으나, 가장 많은 연구 방향은 니켈, 알루미나 등을 활용한 촉매 개발이 메인이 되어 다른 분야의 연구처럼 촉매 개발이 핵심으로 분석되었음

- 수소의 핵심 생산 기술인 2개의 분야에서 국내 특허는 미비하여 기반 기술이 절대적으로 부족함을 알 수 있음. 따라서 수소 활성화를 위해서는 반드시 기반 기술 소유를 위한 기술 개발이 시급하게 이루어져야 함

□ 수소 저장 분야

○ 수소 저장 분야는 가장 현실적으로 사용될 수 밖에 없는 가스 압축, 액화, LOHC, Hydride를 핵심단어로 분류하여 정리하였음

○ Hydrogen compression storage의 keyword로 검색한 결과, 미국 97,920건, 유럽, 24,317건, 일본 4,795건이 검색됨. 그러나, 국내는 총 41건이 검색되었으나, 단 한 건도 직접적이 연관이 없었으며, 대부분 해외 법인 소속의 특허였음

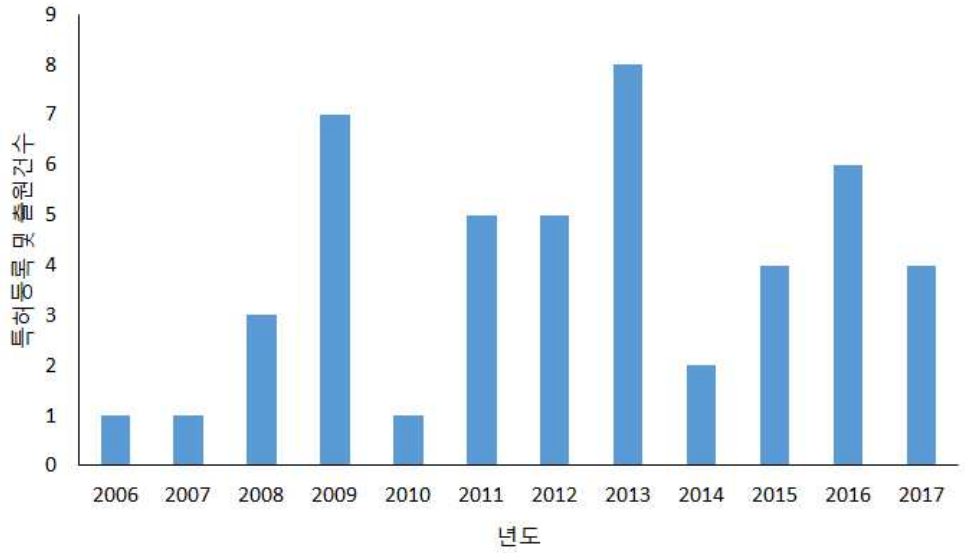


그림 3.15. 국내 추출 수소 (reforming) 관련 연도별 특허 출원 및 등록 건수

○ Hydrogen liquefaction storage의 keyword로 검색한 결과, 미국 4,582건, 유럽, 1,067건, 일본 104건이 검색되었음. 이에 반해 국내는 검색되지 않았음.

- 국내 특허는 수소가 아닌, 천연가스 액화 기술에 집중되어 총 75건이 나타남

○ Hydrogen LOHC storage의 keyword로 검색한 결과, 미국 21건, 유럽 9건, 일본 2건 등이 검색되었음. 국내 특허는 총 2건으로 피리딘계 수소저장, 1-바이페닐, 1-메틸렌다이벤젠 저장 방식 등 총 2개였으며, 화학연구원, 한국과학기술연구원이 각각 1개씩 소유하고 있었음

- 따라서 이 분야는 전세계적으로 원천 핵심 기술을 확보하는 단계로, 기술개발의 초점을 원천과 핵심 기술의 확보하는 기초 연구 단계로 추진해야 함
- 향후 지속적인 연구개발로 인하여 미래를 대비하는 기술로 준비하는 것이 타당한 방향성임

○ Hydrogen Hydride storage의 keyword로 검색한 결과, 미국 37,227건, 유럽 10,030건, 일본 6,333건으로 분석되고 있으나, 국내 특허는 총 68건이 검색되었음. 그중에서 36건이 국내 기관 소유로 되어 있음

- 가장 활발하게 연구를 진행한 곳은 한국과학기술연구원으로 9개의 특허를 소유하고 있으며, 인하대학교 3건, 기초과학연구원, 한국에너지기술연구원, 원자력연구원, 한온시스템, 한화케미칼, 현대자동차, 엘지화학 등이 2건씩을 소유함
- 공통적인 방향성으로 추진되는 것이 없이 개별 특허 모두 각각의 방식으로 내용구성이 되어 있어, 지속적인 연구가 진행되고 있으나, 아직 보편화된, 즉 성능적으로 우수한 방식이 개발되지 못했다는 것을 의미함

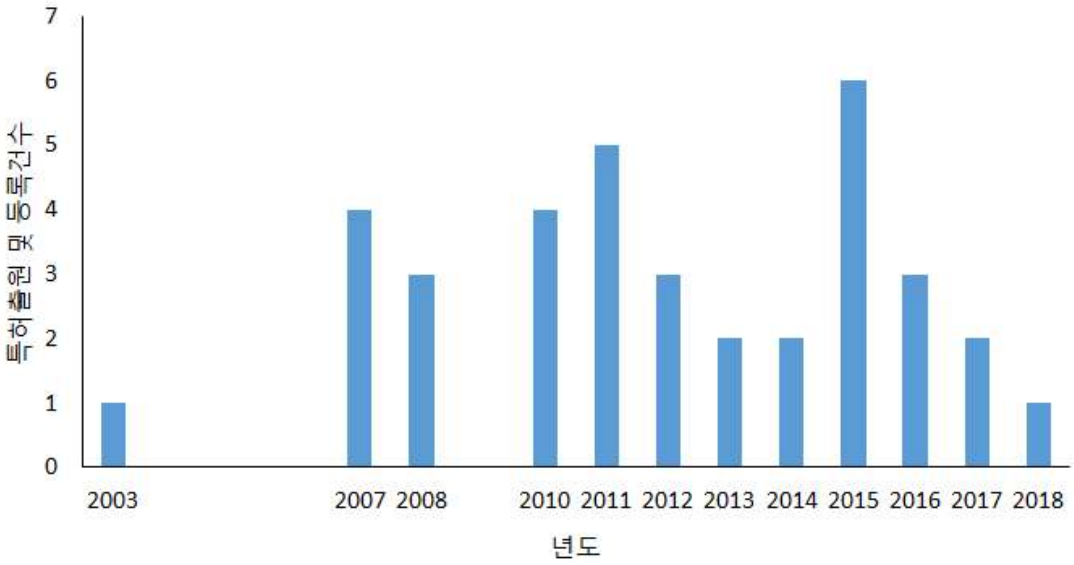


그림 3.16. 국내 수소 저장 hydride관련 연도별 특허 출원 및 등록 건수

□ 시사점

○ 국내 특허는 수소 전주기 중에서 수소 응용 분야에 집중되어 있으며, 특히 수소 연료전지 분야에 집중되어 있음.

- 수소 연료전지 분야 중 세계의 특허 경향은 SOFC에 집중되고 있으나, 상대적으로 국내 특허는 PEMFC에 집중되는 형향이 있음
- SOFC는 현재 소형으로만 생산되고 있으나, PEMFC는 대형화가 가능한 분야로 국내 산업의 경향이 가정용 연료전지 보다는 발전용 연료전지에 특화되어 있기 때문으로 분석될 수 있음
- 또한 PEMFC는 자동차 스택에 사용이 가능한 기술이므로 현대자동차에 기인하는 경향이 크기 때문인 것으로 분석될 여지가 있음

○ 수소 자동차 분야는 전세계를 선도하는 분야로 가장 많은 특허를 소유한 국가임. 현대자동차가 `13년 투싼으로 최초의 수소 자동차를 상용화한 것에 기인한 바가 큰 것으로 사료됨. 수소 자동차 분야 369건 중 현대기아자동차가 216개 즉 전체 특허의 58.5%를 소유한 것으로 분석결과 나타남

○ 이에 반하여 수소 사회 구축에 있어 가장 중요한 수소 생산과 저장 기술에 있어서 국내 특허 소유는 세계에 비하여 극히 미비함.

- 수전해 기술은 총 34건으로 미국 특허의 약 0.1% 수준임. 또한 추출기술은 수전해 기술에 비하여 낫지만, 총 134건으로 미국 특허의 0.28% 수준임
- 따라서, 실질적으로 생산과 관련된 기술을 국산화하는 것은 가능할 수 있지만, 세계를 선도할 수 있는 핵심 기술 개발과 특허는 어려울 것으로 사료됨
- 저장기술은 수소 압축저장, 액화저장과 관련하여서 국내 기술은 단 1개의 특허도 검색되지 않았으며, 아직 상용화가 어려운 LOHC와 Hydride 저장에서만 특허가 검색되고 있음.
- Hydride 저장기술은 그럼에도 불구하고 미국 특허 수의 01%에도 못미치는 36건으로 수소의 생산 기술과 유사하게 핵심 기술을 개발하고 특허를 낼 수 있는 범위가 지극히 좁아지고 있음을 알 수 있음
- 단, LOHC 분야는 지금 핵심기술을 개발하기 위한 선진국간의 전쟁이 있는 분야로 아직 모든 국가에서 특허 보유수가 많지 않으므로 연구개발을 할 경우 핵심 기술 소유 가능성이 높음

○ 단기간적 수소 경제 활성화를 위해서는 필연적으로 수소 공급 문제를 해결해야 하나, 현재 천연가스 추출 기술에 사용될 수 있는 순수 핵심 기술이 부족함. 따라서 핵심적인 기술 소유를 위한 연구개발이 반드시 필요함

○ 또한, 압축 기술과 저장을 위한 핵심 기술 개발이 반드시 요구되기 때문에 특허 회피전략을 통한 기술개발 전략을 추진해야 할 것으로 사료됨

○ 특허 검색 결과는 현 단계에서 경쟁력 있는 분야가 연료전지 중 PEMFC 분야와 수소 자동차 분야임을 암시하고 있으므로, 단기간 수소 경제 구축을 위해서는 2개의 분야를 중점으로 추진하는 방향성을 전략적으로 검토해야 함

- 그러나, 가장 중요한 인프라로서 충전소 기술 소유 기업이 없어 이에 대한 빠른 기술 개발이 뒷받침 되어야 할 것으로 사료됨

○ 수소 충전소를 포함한 수소경제 구축을 위한 기본 인프라 분야에 대한 특허소유가 너무 부족하기 때문에 현단계 수소 경제 활성화 추진시 외국계 기업 혹은 기술이 필연적으로 유입될 수 밖에 없음

- 일본의 경우 민간에서 기술개발이 완료된 이후 수소 경제 활성화를 추진함으로써 자국내 기업의 경쟁력이 어느정도 확보된 상황이나, 국내는 기본 인프라 부족으로 외국계 자본의 시장으로 전락할 우려가 있기 때문에 빠른 대안이 필요할 것으로 사료됨

3. 수소 전주기 기술 R&D 분석 및 선도기관 분석

□ 현재까지 제안된 총 과제 분류

○ 수소와 관계된 과제는 총 2,774개로 분류되며, 그중에서 수소경제 구축과 직접적으로 연계되는 생산, 이송, 저장과 관계된 과제 수는 1,690개이며, 그중에서 실증으로 분류될 수 있는 과제는 161개 과제임, 응용연구 289개임

- 수소 생산, 이송, 저장에 속하지 않는 카테고리의 분류는 황화수소, 미생물내 수소결합 등 수소 경제와는 무관한 수소가 제목에 들어간 것으로 본 수소사회 구축과는 무관한 과제임

- (응용연구) 이 분야는 `02년이후로 본격적으로 예산이 투입되었으며, 연구예산이 총 1,450억원이 투입됨. 총 과제 수는 147개 과제로 다년과제 70개, 단년과제 77개로 구성되었음.

・일반적인 핵심 연구 방향으로 인력양성이 9개 과제, 111개의 과제가 생산과 관련된 과제였으며, 생물학적 수소 생산이 33개, 수전해기술이 4개 바이오 메스 분해가 2개, 원자력 수소 2개, 광화학적/열화학적 물분해 고주파 유도 가열 등 화학적 수소생산 기술이 나머지를 차지하고 있었음.

＊ 많은 수소 생산 과제와와 촉매 기술이 중복되어 개발됨

・따라서 실질적으로 활용가능한 생산 기술은 생물학적 수소 생산기술에 초점이 맞추어져 있었음을 알 수 있음. 그린 수소 생산의 핵심인 전기분해는 3건이었음, 개질 기술은 총 7개였으며, 그중 수소 스테이션을 위한 현장 개질 시스템 총 6건으로 21세기 프론티어 사업을 통해 개발되었음

・저장기술 개발이 총 84건이었으며, 마그네슘 저장, 나노소재 저장 등이 있으나, 탄소나노튜브와 그래핀 등의 나노소재를 이용한 것이 26건으로 가장 많았음. 금속저장이 9건이었음. 액상저장이 4건 액화기술 1건 등이 있었음

· 위험성 평가기술은 총 6개가 있었으며, 기타로 파급효과 등에 대한 연구가 중점적으로 추진되었음.
· 연료전지 분야에 대해 총 40개의 과제가 조사되었으며, 주로 전기 자동차와 연계되거나, 혹은 부품 개발 및 안정성, 표준화 기술개발 그리고 연료전지 자체에 대해서는 SOFC과제가 메인이었음

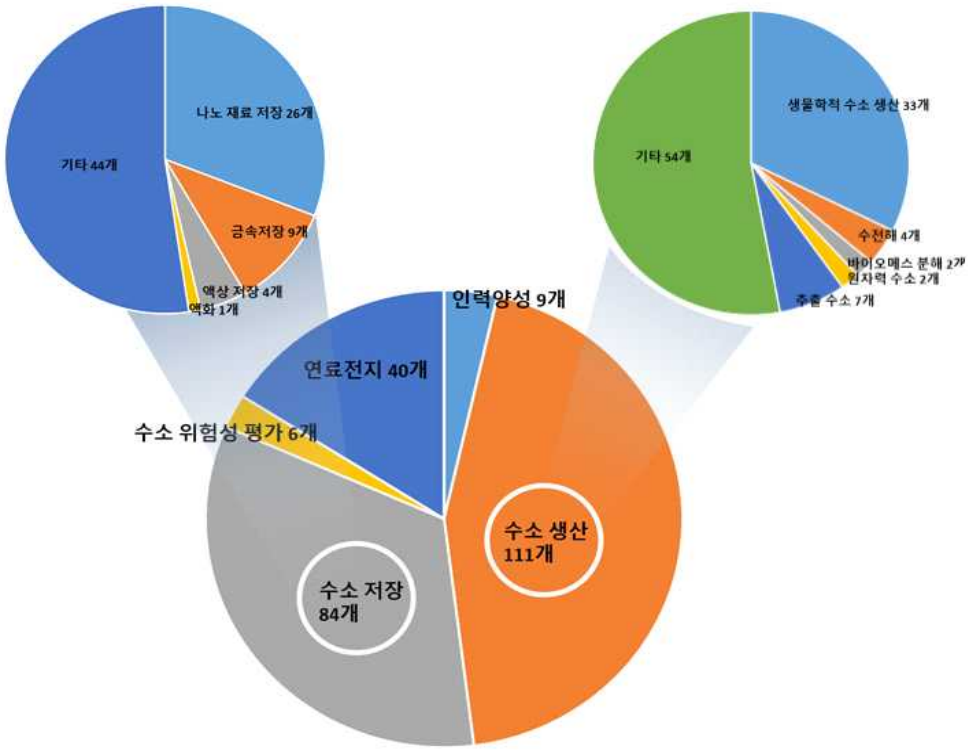


그림 3.17. 수소 관련 응용 연구의 중점 테마

○ 수소의 실증형 과제는 실증으로 분류될 수 있는 과제는 161개 과제로 약 836억이 투입되어, `06부터 현재까지 투입되고 있음. 총 103개의 과제로 40개의 다년과제와 64개의 단년과제로 구성되어 있음

- 이 과제는 주로 파일럿 플랜트 등을 통해서 기술의 실증이 반드시 들어가는 과제로, 과제당 평균 5억이 투입되었음.
- (생산실증과제) 수전해 기술 실증이 총 9건으로 그중 7건이 AE에 대한 실증이었으며, 수소 스테이션과 직접적으로 연계한 과제가 5개로 50 Nm^3/hr급을 제조하는 것이었음. 개질에 대한 실증은 없었으며, 응용분야에서 충전소와 연계되어 실시되었음. 바이오 수소가 15건에 대해서 연구되었으며, 총 생산과 관련된 과제는 57건임

- (저장실증과제) 저장관련 기술은 총 19건이 검색되었으며, Ti계, 수소저장 합금, 액화수소, 등이 주로 연구가 진행되었음. 이 실증 분야에서 액화 기술은 총 8건이 조사되었으나, 그중에서 부품이 극저온 밸브를 포함하여 총 3건이 있었으며, 현재 국토부에서 추진하는 액화기술 중 10 kg/d급의 실증이 중소기업인 하이리움에서 기 실행되었음. 고압 수소저장은 연료전치 차량용으로 총 5건이 실실되었음.
- (기타) 활용면에서 충전소와 직접 관계 있는 것은 압축기개발과, 플라즈마 공정개발, 등이 있으며, 총 7건이 있었음. 연료전지관련해서는 68개의 과제가 있었으며, 핵심적으로 수소연료전지자동차용 스택개발과제가 2건이 있었음. 연료전지 자체에서는 SOFC가 응용에, 실증에서는 PEMFC가 주로 나타나는 경향이 있었음

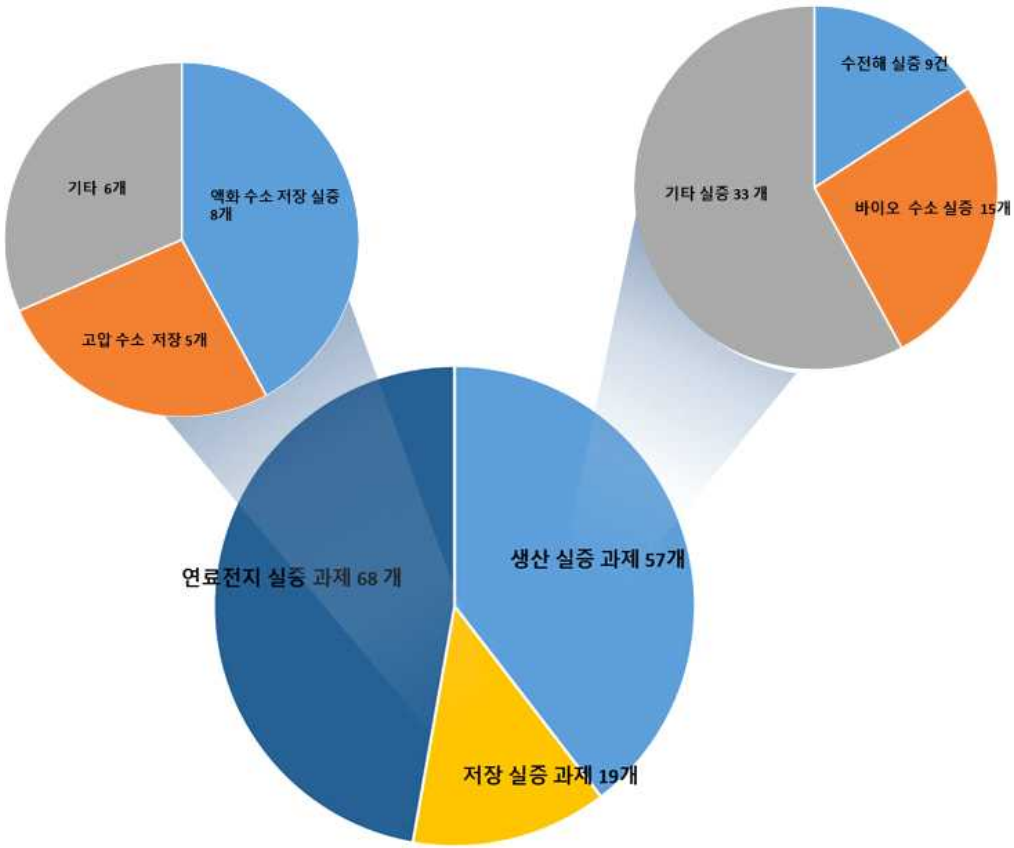


그림 3.18. 수소 관련 실증 연구의 중점 테마

□ R&D 선도 기관

○ 응용과 실증형 과제 총 450개 과제 중에서 참여 기관 수는 139개의 기관이 분담하여 연구를 진행하였으며, 그중에서 가장 많은 과제에 참여한 것으로 한국에너지 기술연구원으로 총 36개의 과제, 그리고 한국과학기술원 29개, 한국과학기술연구원 23, 포항공대 11건, 전북대 13건, 기계연구원 15건 등이 10건 이상 과제를 진행한 기관임

○ 전반적으로 고르게 분포가 되어 기술개발이 실시되었으나, 특허수, 과제수 등을 고려해볼 때, 국내 수소 분야의 연구를 선도하는 기관은 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원으로 분류할 수 있음. 상대적으로 대학의 참여가 많지 않은 분야로 평가될 수 있으며, 주로 연구원 위주의 개발이 이루어지는 것으로 평가됨

4. 개별 기술에 대한 수준 분석

□ 수소생산, 저장, 이송 등의 기본 인프라

○ 수소 사회 관련 기본 인프라 기술은 현재로서는 기술개발 단계로 평가되며, 해외의 린데, 에어프로덕트, 넬 등의 기술력과 비교할 경우 경쟁력이 없음

- 현 단계에서 부생수소 외에는 국산 수전해기술, 개질 기술로 수소를 생산하는 것은 경제성 혹은 안정성 면에서 부족함
- 따라서 현재 구성된 수소의 공급사 등에 대한 수소는 대부분 부생수소 제조업체이며, 별도로 수소 생산을 하는 것은 찾아보기 어려움

*** 수요처도 실질적인 정유사를 주축으로 구성됨**

- 그림 3.19는 현재 각 산업단지내에서 부생수소 위주의 생산업체와 이송/공급을 담당하는 업체를 정리한 것으로 공급을 약 6개 내외의 기업이 담당하고 있으며, 그중에서 2개 업체가 외국계 기업임

○ 현재 수소의 공급은 6개 업체가 튜브트레일러와 파이프라인에 의해서 산업단지 내에서 유통을 하고 있는 실정임

○ 따라서 수소 경제 활성화를 위해서는 1차적으로 수소의 공급 수단을 확보하는 것이 중요함

- 현 부생수소는 실질적으로 사용처가 확정되어 있는 상황으로 추가 생산을 해야 여유가 생길 수 있음

- 단기적 시점에서 수소경제 구축을 위해서는 연료전지와 수소자동차를 제외하면, 외국계 기술 혹은 공정이 대다수를 차지할 것으로 예상됨
- `20년 이후 지속적인 기술개발이 이루어 질 것으로 예상됨

그림 3.19. 국내 수소 산업 관련 벨루체인
(산업용가스 시장분석 및 활용방안, 2015, 화학경제연구원)

□ 연료전지

○ MCFC 분야

- 포스코 에너지가 주력으로 미국 FCE사와 전략적 기술제휴를 통해 단계적 국산화를 추진함 (BOP 국산화, 스택 국산화, 셀 국산화)
- 포스코에너지의 경우 MCFC의 기술 부분에서 세계 최고 수준의 기술을 보유한 것으로 판단되나 아직 품질, 유지보수 등 해결해야 할 부분이 존재

○ PAFC 분야

- (주) 두산 퓨얼셀은 두산의 사업부문 중의 하나로 2014년 미국의 CEP(Clear Edge Power)사를 인수하고 퓨얼셀 파워를 합병하여 발전용 및 주택용 연료전지 시장 진출

○ PEMFC 분야

- (주) 두산 퓨얼셀은 CellVille의 PEMFC 제품으로 600W, 1kW, 5kW, 10kW 제품 보유, 발전효율은 35% 내외, 열회수율을 포함한 효율은 85%내외. 1kW급이 약 1600대 가량 설치되었음.
- S 퓨얼셀은 1kW~5kW급, 6~10kW급 추출수소 형 연료전지 시스템과 수소를 사용하는 1~10kW급 연료전지 시스템 기술 보유. LNG를 사용하는 시스템의 경우 전기효율은 35% 내외 종합효율 약 90%이며 수소를 사용하는 시스템의 경우 전기효율 50%, 종합효율 90% 임.
- 효성은 1kW급 듀얼셀 스택을 개발하여 가정용으로 판매하고 있음. 전기효율 33%, 열회수율 53%임. 울산 수소타운에 10kW 연료전지 공급
- 2017년 PEFC형태의 가정용 연료전지의 국내 가격은 3250만원/kW 수준이며 정부 보조금 예산은 40억원 수준으로 약 190대 정도 보급 가능한 수준
- 주요 업체로는 Ballard, Heliocentris, Hydrogenics, ITM Power, Plug Power, Doosan 등.

○ SOFC 분야

- 2012년 LG그룹이 영국의 롤스로이스사의 자회사인 롤스로이스 퓨얼셀시스템즈를 인수하여 LG Fuel Cell Systems Inc.를 설립하고 고효율의 3세대 SOFC 상용화를 위한 연구개발 중.
- 주요 업체로는 Aisin Seiki, Bloom, Ceres power, GE, Hexis등이 있음.
- 일본의 에네팜 제품 중 SOFC 형식의 AISIN 제품은 전기효율 46.9%(HHV)이며 열회수율은 31.6%로 내구기간 10년이며 가격은 2,054,000엔(세금별도)임.
- 2015년 기준 미국의 Bloom Energy는 100/200 kW급 시스템 130MW 보급

○ 주요 업체의 현황

- 표 3.3은 국내에서 경쟁하는 업체의 현황을 요약한 것임
- (포스코에너지) `14년 제품의 품질저하 문제가 발생하면서 일회성 비용이 발생하고 각종 보수비용이 발생하여 사업성이 좋지 않았지만 최근 경영진 교체 후 연료전지 사업 정상화를 위해 노력

표 3.3 내 주요 연료전지 업체의 현황

업체명	연료전지 종류	사업내용	최근동향
두산퓨얼셀	발전용(PAFC) 건물용,(PEMFC)	· 미국의 CEP사와 퓨얼셀파워를 합병하여 '14년도에 설립 · 발전용(PAFC) 400kW급과 건물용(PEMFC) 600W, 1kW, 5kW, 10kW급의 연료전지시스템 공급 · MEA(Membrane Electrode Assembly), 스택, 개질기 등의 요소 기술부터 시스템에 대한 기술까지 자체적으로 보유하고 있음	· 2018년 상반기에만 8,400억원 수주 달성 · 2016년 건물용 연료전지 생산할 수 있는 설비를 갖추고, 25kW급, 100kW급 규모 개발 중에 있음 · 현재 도시가스 개질을 통한 제품 매출이 대부분이나 부생수소활용 제품을 개발중에 있음
포스코에너지	발전용(MCFC)	· 2007년 미국 퓨얼셀에너지로부터 연료전지 관련 기술을 이전받아 연료전지사업에 진출 · 발전용(MCFC) 2.5MW급 연료전지 공급 · 연료전지 발전시스템의 기술개발, 제조, 설치 및 시공, 유지보수 등 토털 솔루션을 제공함	· 2007년 사업부문 신설이래 3,300억원의 영업적자 기록하였음 · 경기그린에너지 58.8MW 공급(`13) · 노을그린에너지 20MW 상암(`16) · 국책사업인 연료전지사업 에 적극적이지 못했으나 사업 지속 예정
(Bloomenergy)	발전용(SOFC)	· 2018년 미국 블룸에너지와 연료전지 주기기 독점 공급계약을 맺고 국내 연료전지시장 진출	· 블룸에너지와 함께 남동발전 분당 화력발전소 내 8.3 MW 규모의 발전설비를 운전 중 · KT 우면연구센터 등 900kW, 중부발전 서울복합 화력발전소 내 6 MW 수주
에스퓨얼셀	발전용(PAFC) 건물용(PEMFC)	· 에스에너지의 연료전지전문 자회사 · 2016년 후지전기와 양해각서 체결하여 발전용 연료전지 시스템 공급 · 에스퓨얼셀은 사업기획 및 기술개발에만 집중하고 영업, 생산 및 A/S는 외주업체 위탁공급하고 있음	· 해외진출을 본격화하고 신성장동력 확보를 위해 2018년 10월 코스닥시장 상장하였음 · '수출목적형 건물용 연료전지 시스템 현지 적용기술개발' 사업자로 선정

· 2007년 미국 Fuel Cell Energy사와 기술 제휴 및 투자 계약을 맺고 연료전지 사업추진 2008년 BOP 제조공장, 2011년 스택(stack) 제조공장, 2015년 셀 제조공장을 차례로 준공하고 단일 사업장 전 세계 최대인 연간 100MW 규모의 셀·스택·BOP를 모두 생산·공급하는 체제를 갖추고 사업을 진행

· 고온형 연료전지의 태생적 특성상 연료전지 발전기의 핵심 부품인 스택(Stack)의 수명이 기존 예상했던 5년보다 짧아지면서 LTSA 관련 비용이 급증하였음

· 연료전지의 핵심부품인 스택의 내구성이 예상보다 낮아 유지보수 비용이 증가하고 있고 추가적으로 미국 퓨얼셀에너지에 로열티를 제공, 수자원공사와의 장기계약 이슈 등으로 인해 적자 폭은 커질 것으로 전망됨

· 하지만 연료전지가 국책사업이고, 바뀐 경영진이 연료전지사업을 지속할 의지를 밝힘으로써, 사업철수는 하지 않고 사업 정상화 노력을 기울일 것으로 보여짐

· 더불어 기존 연료전지보다 효율이 높은 SOFC방식을 100% 국산화 진행

- (두산퓨얼셀_발전용) 경쟁사인 포스코가 주춤한 사이 대형 연료전지 발전 프로젝트를 수주하여 '18년 상반기에만 8,400억원 프로젝트 수주 하였고, RPS(신재생에너지 공급의무)비율의 상향 조정 등 긍정적 외부요인으로 인해 사업 확대가 예상됨
  · 2012년 수소타운 시범사업에 따라 1kW, 10kW급 순수 수소형 연료전지 설치에 따른 수소 공급, 설치, 안전, 운영에 걸쳐 기술 개발이 이루어 졌으며, 2014년 Clear Edge Power에 매각된 UTC의 PAFC 기술을 도입하였음
  · 현재 MEA나 스택, BOP 등의 요소기술부터 시스템에 이르기까지 모든 기술을 자체보유하고 있음
  · 2017년 동서발전 일산 연료전지 4단계(5.28MW)와 서울 마곡지구 서남물재생센터에 30MW급 연료전지를 납품한데 이어 2018년 남동발전 분당발전본부 연료전지 5단계(5.72MW)를 준공하고, 서부발전 서인천발전본부 3단계연료전지(18MW), 남부발전 신인천연료전지 2, 3단계(36MW), 한화대산(50MW)등을 차례로 수주하였음
  · 최근 도시가스 개질 방식의 연료전지가 이산화탄소를 배출하는 이슈가 제기되어 순수 수소용 연료전지 개발을 추진 중에 있음
- (SK건설) 2018년 미국 블룸에너지와 연료전지 주기기 독점 공급계약을 맺고 국내 연료전지시장 진출, KT, 중부발전 등 타 이해관계자와 MOU를 맺는 등 사업 확장 추진 중에 있음
  · 블룸에너지의 연료전지(SOFC) 기술을 기반으로 한 발전설비를 도입하여 최근 한 달 사이에 3건의 발전설비계약 수주하였음
  · SK건설, 중부발전, ㈜두산 등 3사와 부생수소 기반 수소연료전지 발전사업 MOU 체결하였음
- (에스퓨얼셀) 2016년 10월 후지전기코리아와 양해각서를 체결하고 PAFC타입 시스템을 도입해 국내 발전용 연료전지 시장에 진출하였음
  · 후지전기가 보유한 PAFC타입 100kW급 연료전지시스템은 2000년대 초반부터 실증에 나서 일본, 한국, 미국, 독일 등 전 세계 90여 사이트에서 시스템이 가동되고 있음
  · 순수수소용, 바이오가스용, 도시가스용 PAFC제품을 공급하고 있음

○ 산업 경쟁력 평가

- MCFC, PAFC 분야는 세계적 선도기업의 인수 및 전략적 협력으로 경쟁력이 높으나, SOFC, PEMFC의 경우 다소 경쟁력이 떨어짐.

- 현재 두산 퓨어셀, S 퓨어셀 등에서 SOFC, PEMFC 등을 본격적으로 개발하여 공급을 하고자 하나, 미국 불룸에너지 등에 비해 낮은 효율성으로 인하여 아직 경쟁이 되지 못할것으로 예측되고 있음
- 특히 가정용은 일본에 비해 가격 경쟁력이 부족한 것으로 평가됨

*** 일본은 에너팜 보급 실증 사업을 통해서 에너팜의 저가화 달성**

- 건물용/대형발전용 연료전지의 경우 발전수익이 REC에 의존. 이는 실질적으로 천연가스 등의 가격에 절대적으로 의존하므로, 기술의 효율성 증가만으로 경제성을 확보하기에는 무리가 있음

*** REC 제도: 신재생에너지 의무발전 인증서로, 발전설비 용량이 500 MW이상일 때 반드시 신재생에너지를 의무적으로 발전해야 함**

- 시장의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 연료보다는 기기의 공급단가를 낮추는 방안과 정부의 지속적인 보조금 제도를 시행하는 방향이 추진되어야 함
- 가정용 연료전지는 주민 수용성 확보를 최우선적으로 시행

□ 수소자동차

○ 수소 승용차

- 현대자동차에서 2013년 세계최초로 양산, 2014년 토요다의 미라이 양산, 2016년 혼다 클라리티가 제품화되어 판매

*** 혼다의 클라리티는 외부 전력 공급용 폰트를 가지고 있음**

표 3.4. 각국에서 개발 혹은 판매중인 수소승용차 성능 비교

항목	현대	현대	도요타	BMW	혼다	GM	벤츠	VW/ 아우디
차량	투싼 ix Fuel Cell	Nexo	Mirari	5-series GT	Clarity Fuel Cell	quinox	GLC F-Cell	A7 h-tron
스택출력 (kW)	100	113	114	80~110	103	93	110	100
주행거리 (km)	426	593~609	502	500~700	750	320	438	500
수소저장	5.6kg (140L)	6.33kg (156.6L)	5kg (122.4L)	4.6~7.1 kg	5.0kg (141L)	4.2kg	4.4kg	5kg
양산	'13.2	'18.3	'14.11	'20이후	'16.3	'20이후	'17	미정
비고			토요타-BMW 협업 후속 개발 중		혼다-GM 협업 후속 개발 중		Plug in FCEV	

- 독일 자동차는 `20년 이후 상용화 예정이며 따라서 승용차 부분은 현대, 일본 업체와의 경쟁임
- 현재 토요타와 혼다에서 가격 경쟁력을 확보한 수소승용차 판매에 따라서 현대 자동차가 지속적으로 판매가 감소하고 있음. 특히 세계 최초의 양산이라는 타이틀에도 불구하고 시장 경쟁력 악화는 내수시장 불확실과 미국에서의 낮은 브랜드로 인한 것으로 판단
- 그림 3.20은 현대자동차가 최초 2013년 이후 `15년까지 점유율 1위에서 `16년 `17년에는 3위로 밀려난 것을 알 수 있음.
- 당시, 현대 투싼 단가는 1억이 넘는 가격이었으나, 토요타의 경우 700만엔 수준으로 판매되어, `16년 8,500만원 수준으로 낮추었으나, 토요타에 가격 경쟁력에서 뒤쳐짐에 따라 3위 수준으로 뒤처짐
- 현재 넥쏘가 7,000만원수준이나, 토요타의 미라이는 6,000만원대로 판매

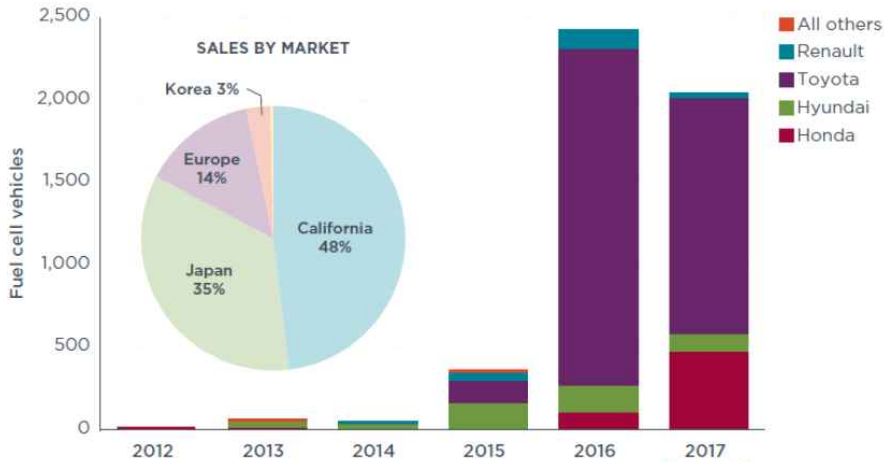


그림 3.20. 현대자동차의 글로벌 점유율
(Case Study Report, Hydrogen Society Japan, Ville Valovirta, 2018)

○ 수소 버스

- 현대자동차가 지속적으로 수소 버스를 개발하여 현재는 4세대 버스 양산을 앞두고 있음. 차후 내수 시장에서 수소 버스를 무난하게 적용할 것으로 사료됨
- 일본에서 개발한 수소 버스와 비교할 경우 성능면에서는 유사한 것으로 판단되나, 가격 경쟁력이 관건으로 생각됨

그림 3.21. 현대자동차 개발 버스의 사양

○ 산업 경쟁력 평가

- 현대자동차외 국내 자동차 메이커가 없는 상황에서 기술 경쟁이 불가능. 일본은 핵심기술 확보와 국산화에 따른 가격 경쟁력 확보를 통해 현 최대 시장인 미국과 일본을 장악함.
- 자동차 자체의 성능은 비슷한 상황에서 부품, 소재의 국산화를 통해 가격 경쟁력 확보가 시급한 시점이며, 현재로서는 국내시장을 제외할 경우 세계 시장에서 산업 경쟁력이 부족할 것으로 예상됨
- 수소 버스는 현재 4세대가 개발된 상태이며, 토요타 수소 버스와 유사한 성능을 보여줌. 따라서 가격 경쟁력 확보가 세계 시장 진출을 좌우하게 될 것으로 판단됨

□ 수소충전소

○ 국내 수소충전소 설치 경험을 가지고 있는 업체는 동덕산업가스, 이엠솔루션, 효성, 광신기계공업 등이 있음.

- 튜브트레일러 공급방식, 천연가스/납사/LPG/매립가스 개질방식, 수전해 방식 등 다양한 방식이 적용되었으나, 실질적으로 이전 세대의 충전소는 350 bar 충전 방식임. 현재 700 bar가 표준화 된 상황하에 이전 충전소는 폐쇄되는 상황
- 1세대 수소 충전소의 주요 부품은 저장용기, 압축기, 충전기, 냉동기, 수소생산 설비로 구분할 수 있으며 충전기는 광신기계에서 공급가능하며 압축기는 광신기계, 저장용기는 440bar저장용기는 NK와 일진이 공급한 바 있고, 냉동기도 한국마이콤에서 수급 가능함.

○ 린데코리아는 국내 이엠솔루션과, 덕양은 NEL과 수소충전소 구축사업에서 협력 관계를 구축하고 있음

○ 산업 경쟁력 평가

- 700 bar 기준의 2세대 충전소 기술 중 핵심인 900 bar 압축용기와 압축기 기술이 없어 전량 수입에 의존
- 2세대 충전소 기술이 없어 린데, NEL 사의 기술을 그대로 도입한 경향이 있음
- 2세대의 필요 기술인 압축기, 압력용기의 국산화와 내구성 확보가 가장 중요하며, 부품 중 저온 고압밸브 등의 개발이 필요함
- 수소충전소 설치 업체의 자료에 의하면 세계 최고 기술 대비 압축기는 30%, 저장용기는 20%, 디스펜서는 50%, 냉동기는 80%의 기술수준으로 산업 경쟁력이 부족함
- 국내업체들의 수소충전소 시공능력은 있으나 관련 핵심부품들의 국산화가 미흡하여 국산화율이 떨어지므로 고압용기와 압축기, 현장설치형(on-site) 수소생산설비(스팀리포머, 수전해)의 저가화, 내구성 개선, 국산화가 요구되고 있음

제 3절 SWOT 분석 및 기술개발의 방향성

1. SWOT 분석

		강점(S)	약점(W)
		– 수소 자동차 분야에 대한 선도적인 기술을 소유하고 있으며 세계적인 경쟁력 확보 – 연료전지 발전분야에 대한 시장 1위 및 풍부한 경험 – 수소 경제 활성화를 위한 강한 정책적 의지와 지자체의 의지 – 세계적인 기술력 확보 대기업 보유 (현대차, 두산퓨어셀, 포스코 에너지 등)	– 수소사회 구축을 위한 기본 인프라 기술 소유가 부족 – 수소생산, 저장 기술의 기술 수준이 선진국 기술에 비해 취약 – 생산저장 기술에 관한 부족한 특허 확보 수 – 해외 에너지 의존도가 높고, 신재생에너지 단가가 경제성 없음 – 수소 충전소의 기본 기술이 없음 – 특정 분야에만 기업기술력 집중 – 낮은 브랜드 가치
기회 (O)	– 파리 협약에 따른 전세계 수소 시장의 확대 가능성 증가 – 수소 자동차 및 연료전지 발전 시장 확대에 따른 국내 기업의 해외 진출 기회 증가 – 지자체 및 민간의 수소사회 구축에 대한 관심 증가 – 수소경제 활성화 로드맵 발표에 따른 지속성 확보	**(SO 전략)** · 미국, 일본을 포함한 수소 시장 진출을 위한 시범 및 실증 사업 추진 · 단기적으로 연료전지와 수소 자동차 분야에 대한 실증사업 추진과 장기적인 기술 개발을 병행하여 산업 선도 전략 추진 · 전략적 추진국과의 협력 관계 구축을 통한 양자간 기술 교류추진 (중동 – 태양에너지, 한국–수소 교통과 연료전지)	**(WO 전략)** · 인프라 확보가 가능한 수소 시범도시 즉 테스트베드를 구축하여 기술의 적용성 위주의 실증 전략 추진 · 지속적인 예산 투입을 통한 기본 인프라 기술의 개발과 장기적인 전망에서 응용기술과 조합할 수 있는 추진전략 추진 · 연료전지와 수소 자동차 실증 목적으로 단기 추진하되, 장기적으로 인프라 기술 조합이 가능한 기술 개발 전략을 추진
위협 (T)	– 해외 기본 인프라 기술 확보 기업의 국내 진출 가능성 풍부 (린데, 에어프로덕트, 넬 등) – 수소 생산기술 부재에 따른 수소 공급량 부족 및 이에 따른 해외 수입량 증대 – 주민 수용성 부족에 따른 최종 소비자의 거부 – 몇몇 대기업을 제외한 생태계 구축을 위한 중소/중견 기업의 부재	**(ST 전략)** · 단기적으로 국내 강점기술 실증을 위한 외국계 기술을 도입하되, 타부처 등의 기술개발 이후 대체가능한 로드맵 구축 · 1차로 국내 수급이 가능한 부생수소 등을 활용하여 가능한 수준으로 사업 규모를 추진하고 향후 생산기술 확보시기에 맞추어 시범도시 확대 · 기업 육성을 위해, 대기업, 중소/중견기업 컨소시엄에 우선 순위 · 1차 벤더 육성을 위해 부품/단위공정 중심의 기술개발 추진 · 주민, 지자체, 연구자의 리빙랩 적용을 통해 상호 의사 반영	**(WT 전략)** · 신재생 에너지 단가가 저렴한 지역과의 국제 공동 연구 전략 혹은 협력을 통한 수소 수급 · 시범사업과 기본 사업을 병행하여 테스트베드내 기본 인프라 기술 개발 시 즉시 대체가 가능한 구조로 개발 · 충전소 등 시급한 기술은 해외 기술 법인과의 합작 기술 개발을 통한 국산화 전략 추진 · 해외 협력 기술 개발 활성화

2. SWOT 분석에 따른 수소 도시 구축을 위한 기술 개발 방향성

□ 국내 기술 중 선도기술 위주의 수소도시 구축 전략

ㅇ 수소자동차와 PEMFC 기술의 세계적인 경쟁력 강화 기술

- **(수소 자동차)** 국산화 부족에 따른 일본의 토요타 등에 가격 경쟁력에서 실기하고 있음. 현재는 혼다에도 시장 점유율면에서 뒤처지는 현상이 발생
  - · 국산화 부품 특히 스택에 대한 기술 미비로 인하여 해외 수입에 의존함에 따라서 가격경쟁력 미비
  - · 미국에서 토요타, 혼단 등에 비해 낮은 브랜드 가치에 따라 시장 점유율이 낮아지는 것으로 판단
  - · 현재 냉정한 비교 평가시, 가격, 기술력, 연비 등에서 일본에 비해 뒤처지는 현실을 반영하여 브랜드 평판 증가와 기술력 확보를 위한 실증의 장을 제공하는 전략을 추진
  - · 차기 수소 교통에 있어 수소 버스 분야의 경쟁이 치열해질 것을 감안하여 수소 승용차와 수소 버스 분야를 통시에 추진하는 전략

    *** 해외 로드맵 분석에서 주민수용성 등을 감안하여 공공분야 수소 버스를 먼저 추진**
  - · 수소 버스의 충전 플랫폼은 아직 표준화된 바가 없기 때문에 표준화 기술 선점 효과를 위한 전략을 추진해야 함
  - · 표준화 가치 증대와 파급효과 극대화를 위해서 국제적인 도시내 실증을 함께 추진하는 방안을 고려함
  - · 특히 향후 수소 공급을 위한 국제 협력이 불가피함에 따라 상호 기술력 교환이 가능한 지역을 우선적으로 추진
  - · 미국 캘리포니아 (수소자동차 시장 1위), 일본 도쿄 (올림픽 등의 파급효과 극대화), 중동 (신재생에너지 단가 1위 및 높은 브랜드 평판에 다른 파급효과), 유럽 (현지의 늦은 기술개발에 따른 높은 진입 잠재력), 중국 베이징 (자동차 시장 1위 및 현지 대기오염 정화 등의 파급효과) 등이 대상이 될 수 있을 것으로 판단
- **(PEMFC)** 상대적으로 우위에 있는 분야이며, 현 시장 뒷받침이 있으나, REC, RPS 제도에 의해 운영되므로 효율성 강화 전략을 추진하여 자생의 토대를 제공
  - · 일본은 가정용 연료전지에 대한 보조금을 `30년이후 중단 방침할 만큼 자생력을 확보한 것으로 판단하고 있음
  - · 이를 벤치마킹하여 국내 발전사업도 효율성 강화를 위한 기술개발과 실증의 토대를 제공할 필요가 있음

    *** 인천시 100 MW등 세계 최대의 시장이 한국임**

· 1차적으로 중앙 집중형의 연료전지 발전을 통한 주민 수용성 확보와 향후 연료전지 개발 방향인 SOFC 개발을 병행 추진함으로써 가정용 공급 방침을 추진
· 일본과 다르게 국내 공동주택 중심의 발전을 초기 전력 공급 (중앙발전형태)에서 동별 SOFC 등 설치에 의한 열 병합형태로 대체 추진

○ 수소 자동차 분야 확대를 위한 인프라 분야

- **(충전소)** 국내 충전소관련 특허, 기술력 등은 모두 부족함. 1세대 350 bar 기술은 상대적으로 효성을 통해서 구축되었으나, 2세대 700 bar 기술은 아직 부족함
· 국내 수소 생산기술 즉 현장 생산 등에 대한 기술력 부족에 따라 해외 기술 유입이 불가피함
· 국내 기술 확보를 위해 현재 충전소를 도입한 이후 국내 기술 확보에 따라 지속적으로 대체하는 2원화 전략을 추진
· 수소 도시를 테스트 베드화하여, 상업화 기술 적용과 실증기술 적용 구역 등의 2원화를 통해 국내 기술력에 대한 비교 평가와 안정성을 위한 기술 확보 등의 전략을 추진
· **(초기)** 부생수소를 공급하는 방안으로 추진함으로써 수소 교통 기술 확보와 경험 축적. 압축기, dispenser, 압축 용기 등 필수 부품의 국산화 추진
· **(중기)** 현장 생산을 위한 추출 혹은 수분해 기술 확보와 초기 개발된 충전소 기술과 접목이후 부생수소 대체
  *** 현질적으로 수분해에 의한 수소 공급은 신재생에너지와 접목할 때 의미가 있으므로 국내에서 적용이 어려울 수 있음**
· **(말기)** 중앙 생산된 수소를 공급 파이프라인 등을 통해 공급하는 등의 직접 접목을 통해 단가 저감 방안 추진

○ 수소 생산 및 공급체계

- 국내 대형 추출기술 부재와 수전해 기술 부재에 따른 국산화 기술 개발과 수소경제의 직접적인 목적이 온실가스 저감에 있으므로 신재생에너지와의 접목, 그리고 폐자원 소스의 수소 생산 및 공급체계 다변화 전략을 추진
· 추출기 개발은 반드시 CCS와 연계해서 기술 개발

- 수소 공급량 부족을 대비하고, 해외 기술교류를 위한 신재생에너지 활용기술을 국제 공공 협력을 통해 해결
· 중동 UAE는 지속적으로 한국과 기술교류를 진행하고 있으며, 태양광에너지 단가가 20원/kWh내외로 세계에서 가장 저렴하므로 이를 활용하여 국내기술과 접목을 통한 단가 저감 전략을 추진

· 해외 생산을 통한 국내 이송전략을 위해 액화기술 확보가 필요하며, 운송을 위한 선박 개발이 필요

- (초기) 단기 천연가스 추출 기술 개발 전 수소 공급은 부생수소 위주로 추진하기 위해 적절한 규모의 시범사업 추진 전략 개발

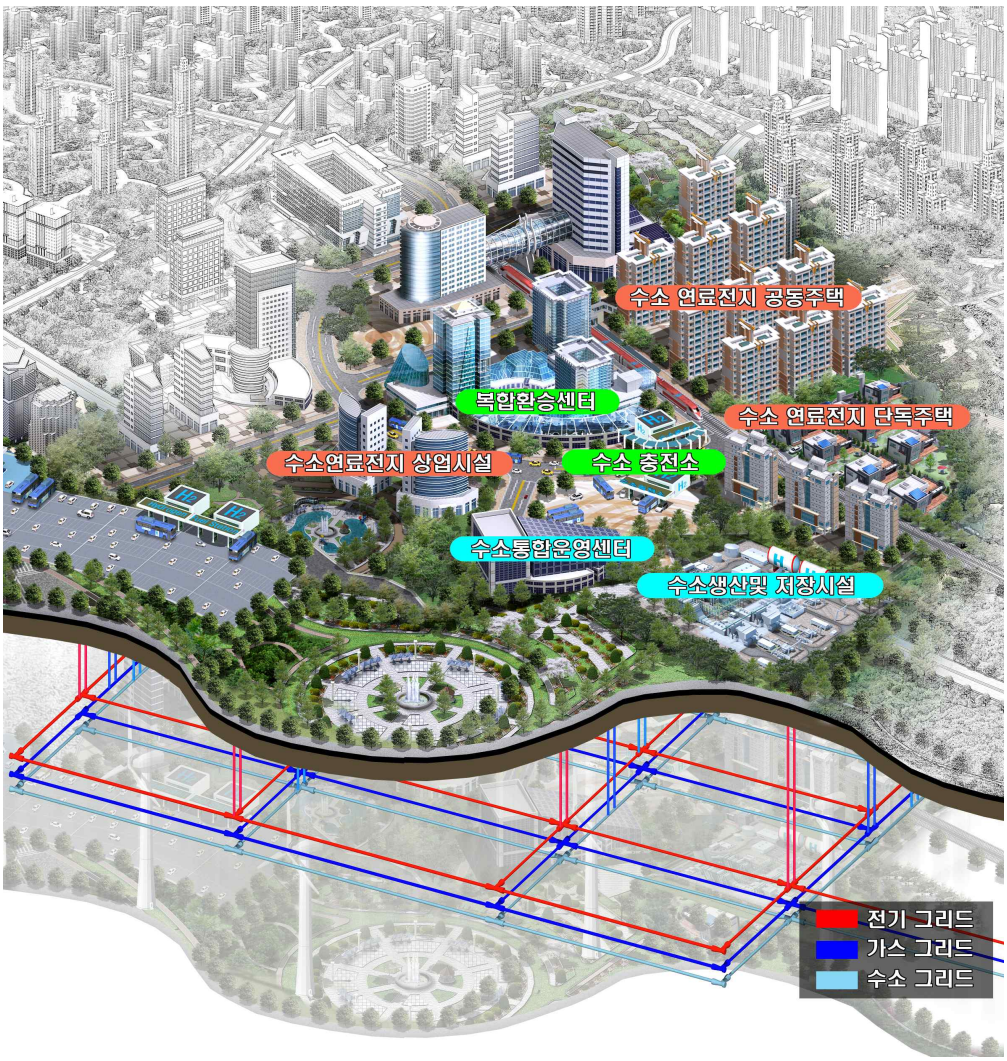
*** 해외 협력을 위해서 초기에 동시에 추진하여, 말기에 현장 접목을 추진**

- (중기) 천연가스 추출기와 CCS를 접목하여 수소를 중앙생산하고, 일부를 신재생에너지와 수전해기술을 접목하여 수소 생산 및 공급 추진
- (말기) 해외 생산 체계 구축을 위한 시범사업을 추진

○ 수소 이송 및 공급

- 국내 수소 공급을 위한 현실적인 수단으로 압축기술과 파이프라인 체계 확대를 위한 기술 개발 추진
- 현재 R&D 등을 통해서 기술개발된 사례는 찾아보기 어려움. 이는 현장용 기술보다는 국책 연구소 위주로 기술개발이 이루어지다 보니, 연료전지, 수전해 등의 기술개발에 초점이 맞추어져 현장에 필요한, 배관, 밸브, 등의 부품개발에 소홀히 하기 때문임. 따라서 생태계 활성화를 위한 중소/중견기업 확대를 위해 관련 기술 개발을 확대하고, 실증을 통한 검증이후 사업 적용
- (초기) 수소 가스 압축기술 위주의 기술개발과 수소 도시내 실증 접목
  - *** 현 250 bar내외를 450 bar 수준으로 단기 개발 (현재 산업부를 통해 추진 중)**
- (중기) 고압 파이프 라인 개발 (100 bar이내)과 700 bar 수준의 고압 압축이송 국산화를 개발하고, 고압 파이프 라인은 수소 시범도시내 수소 공급을 위해 적용하고, 저압 파이프라인은 수소시범도시내 구축
- (말기) 해외 생산 수소 이송을 위한 액화이송 트레일러를 추진

제 4 장
사업의 추진 전략


수소 연료전지 공동주택
복합환승센터
수소 연료전지 단독주택
수소연료전지 상업시설
수소 충전소
수소통합운영센터
수소생산및 저장시설
전기 그리드
가스 그리드
수소 그리드

제 4 장 사업의 추진 전략

제 1절 기술 수요 및 지자체 모델 조사

1. 기술 수요 조사 범위 및 추진 절차

□ 기술 수요 조사 범위

○ 각 공정의 기술보다는 전체적인 수소 시범 도시 및 수소 경제 구축이라는 큰 범위에서 필요한 방향성으로 기술 수요 조사 실시

- 수소 도시 정의에 대한 의견 수렴과 수소 생산단가, 도시 모델에 대한 의견을 수렴함으로써 전체적인 방향성에 대한 의견을 조율
- 수소도시 모델의 구체화와 각 수소 도시 내 필요 기술 및 세부 내용을 조사
- 각 지자체 별로 관심도를 조사하고, 국가와 역할 분담 그리고 주민 수용성 문제에 대한 지자체 의견을 조사함
- 각 지자체에서 현재 추진하고 있는 수소 도시와 계획에 대하여 조사

○ 확대 기획위원진과 수소 도시 구축 의지를 표명한 지자체를 대상으로 추진

○ 2차적으로 에너지 학회 등을 통하여 추진함

□ 기술 수요 조사의 추진 절차

○ 사전 기획위원회를 통해서 현장에서 조사하는 것을 원칙으로 추진함

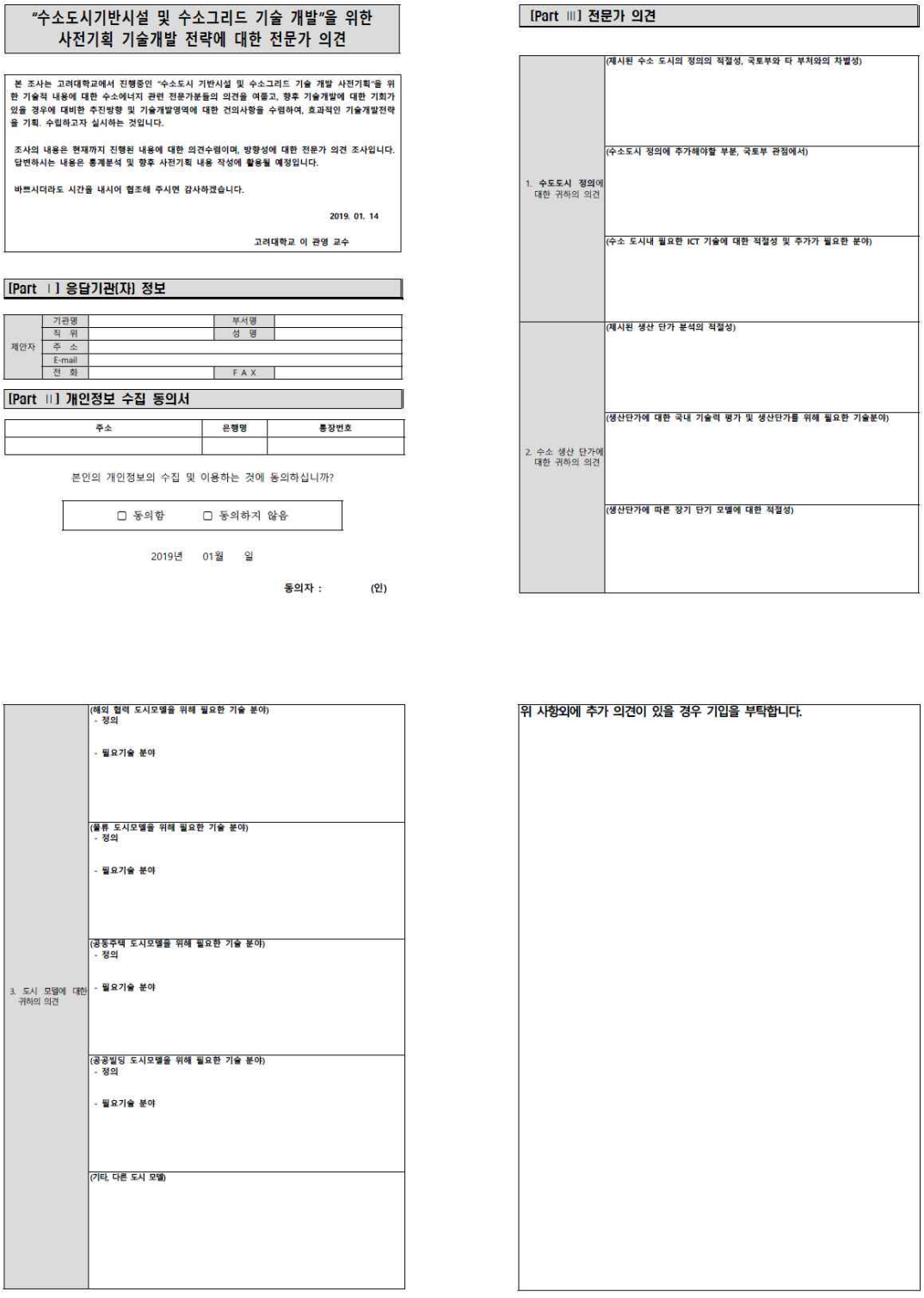
○ 지자체 의견은 수소 도시 모델 확정을 위한 공청회를 통해 현장에서 조사하고, 별도로 지자체간 연락을 통해서 의견 수렴

○ 기술 개발에 대한 의견 수렴은 에너지 학회 등을 통하여 전반적으로 실시함

□ 기술 수요 조사서

○ 그림 4.1은 이러한 사전 기획을 위한 수요 조사서를 보여주는 것임

- **(1차 기술 수요조사서)** 수소 도시 모델에 대한 수요 조사와 제시된 수소 모델에 대한 전문가 자문을 추진



"수소도시기반시설 및 수소그리드 기술 개발"을 위한 사전기획 기술개발 전략에 대한 전문가 의견

본 조사는 고려대학교에서 진행중인 "수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술 개발 사전기획"을 위한 기술적 내용에 대한 수소에너지 관련 전문가분들의 의견을 여쭙고, 향후 기술개발에 대한 기회가 있을 경우에 대비한 추진방향 및 기술개발영역에 대한 건의사항을 수렴하여, 효과적인 기술개발전략을 기획, 수립하고자 실시하는 것입니다.

조사의 내용은 현재까지 진행된 내용에 대한 의견수렴이며, 방향성에 대한 전문가 의견 조사입니다. 답변하시는 내용은 통계분석 및 향후 사전기획 내용 작성에 활용될 예정입니다.

바쁘시더라도 시간을 내시어 협조해 주시면 감사하겠습니다.

2019. 01. 14

고려대학교 이 관영 교수

[Part Ⅰ] 응답기관(자) 정보

제안자	기관명		부서명	
	직 위		성 명	
	주 소			
	E-mail			
	전 화		F A X	

[Part Ⅱ] 개인정보 수집 동의서

주소	은행명	통장번호

본인의 개인정보의 수집 및 이용하는 것에 동의하십니까?

☐ 동의함 ☐ 동의하지 않음

2019년 01월 일

동의자 : (인)

[Part Ⅲ] 전문가 의견

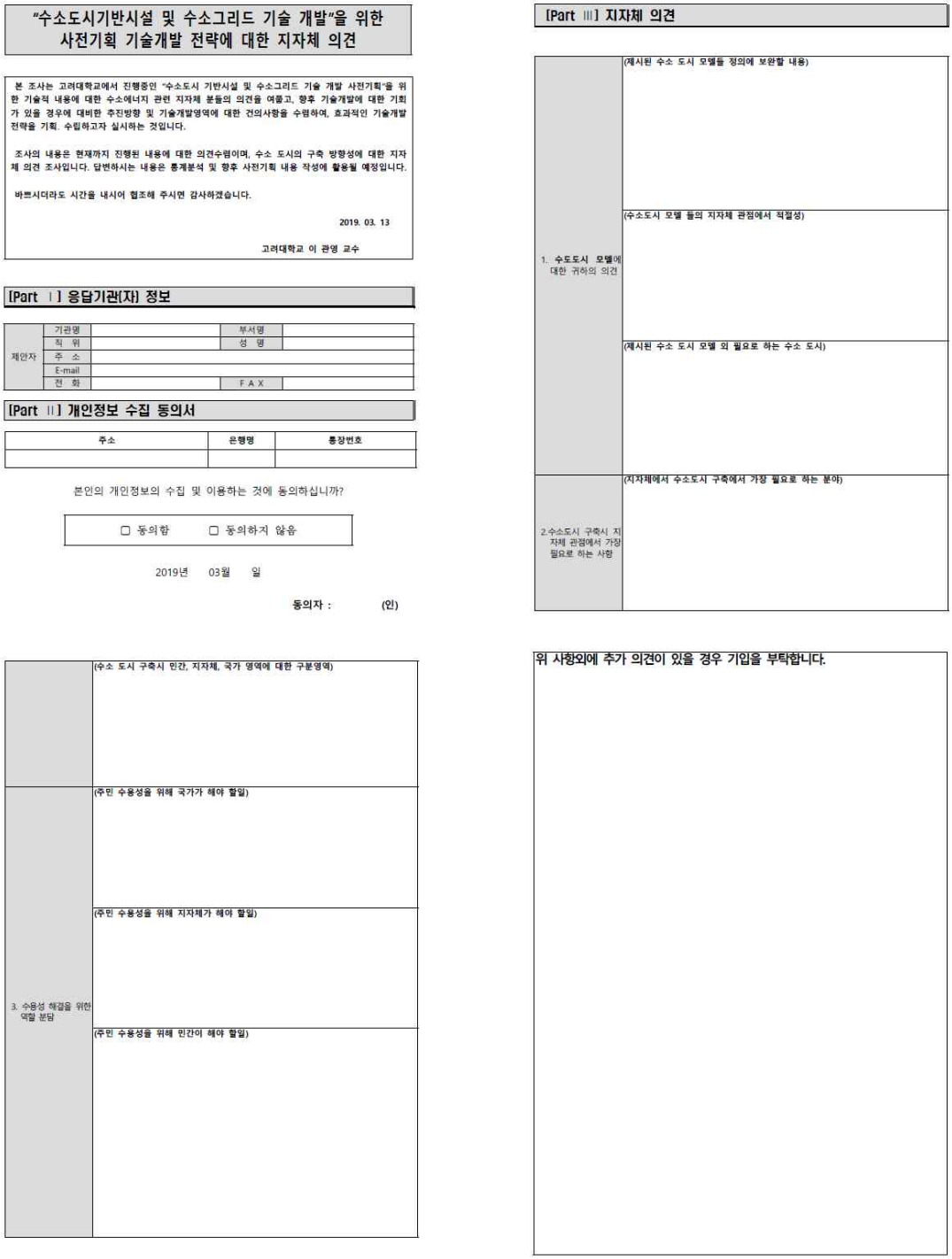
1. 수도도시 정의에 대한 귀하의 의견	(제시된 수소 도시의 정의의 적절성, 국토부와 타 부처와의 차별성)
	(수소도시 정의에 추가해야할 부분, 국토부 관점에서)
	(수소 도시내 필요한 ICT 기술에 대한 적절성 및 추가가 필요한 분야)
2. 수소 생산 단가에 대한 귀하의 의견	(제시된 생산 단가 분석의 적절성)
	(생산단가에 대한 국내 기술력 평가 및 생산단가를 위해 필요한 기술분야)
	(생산단가에 따른 장기 단기 모델에 대한 적절성)

3. 도시 모델에 대한 귀하의 의견	(해외 협력 도시모델을 위해 필요한 기술 분야) - 정의 - 필요기술 분야
	(물류 도시모델을 위해 필요한 기술 분야) - 정의 - 필요기술 분야
	(공동주택 도시모델을 위해 필요한 기술 분야) - 정의 - 필요기술 분야
	(공공빌딩 도시모델을 위해 필요한 기술 분야) - 정의 - 필요기술 분야
	(기타, 다른 도시 모델)

위 사항외에 추가 의견이 있을 경우 기입을 부탁합니다.

그림 4.1. 1차 기술 수요조사서

- **(2차 기술 수요조사서)** 수지자체 의견 수렴을 위한 방안으로 현재 제시된 모델들에 대한 의견과 지자체 자체 수소도시 구축 계획에 대한 조사를 실시함



"수소도시기반시설 및 수소그리드 기술 개발"을 위한 사전기획 기술개발 전략에 대한 지자체 의견

본 조사는 고려대학교에서 진행중인 "수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술 개발 사전기획"을 위한 기술적 내용에 대한 수소에너지 관련 지자체 분들의 의견을 여쭙고, 향후 기술개발에 대한 기회가 있을 경우에 대비한 추진방향 및 기술개발영역에 대한 건의사항을 수렴하여, 효과적인 기술개발 전략을 기획. 수립하고자 실시하는 것입니다.

조사의 내용은 현재까지 진행된 내용에 대한 의견수렴이며, 수소 도시의 구축 방향성에 대한 지자체 의견 조사입니다. 답변하시는 내용은 통계분석 및 향후 사전기획 내용 작성에 활용될 예정입니다.

바쁘시더라도 시간을 내시어 협조해 주시면 감사하겠습니다.

2019. 03. 13

고려대학교 이 관영 교수

[Part Ⅰ] 응답기관(자) 정보

제안자	기관명		부서명	
	직 위		성 명	
	주 소			
	E-mail			
	전 화		F A X	

[Part Ⅱ] 개인정보 수집 동의서

주소	은행명	통장번호

본인의 개인정보의 수집 및 이용하는 것에 동의하십니까?

☐ 동의함 ☐ 동의하지 않음

2019년 03월 일

동의자 : (인)

[Part Ⅲ] 지자체 의견

1. 수도도시 모델에 대한 귀하의 의견	(제시된 수소 도시 모델들 정의에 보완할 내용)
	(수소도시 모델 들의 지자체 관점에서 적절성)
	(제시된 수소 도시 모델 외 필요로 하는 수소 도시)
2.수소도시 구축시 지자체 관점에서 가장 필요로 하는 사항	(지자체에서 수소도시 구축에서 가장 필요로 하는 분야)
	(수소 도시 구축시 민간, 지자체, 국가 영역에 대한 구분영역)
3. 수용성 해결을 위한 역할 분담	(주민 수용성을 위해 국가가 해야 할일)
	(주민 수용성을 위해 지자체가 해야 할일)
	(주민 수용성을 위해 민간이 해야 할일)

위 사항외에 추가 의견이 있을 경우 기입을 부탁합니다.

그림 4.2. 2차 기술수요 조사서

"수소도시기반시설 및 수소그리드 기술 개발"을 위한 사전기획 기술개발 전략에 대한 지자체 의견

본 조사는 고려대학교에서 진행중인 "수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술 개발 사전기획"을 위한 기술적 내용에 대한 수소에너지 관련 지자체 분들의 의견을 여쭙고, 향후 기술개발에 대한 기회가 있을 경우에 대비한 추진방향 및 기술개발영역에 대한 건의사항을 수렴하여, 효과적인 기술개발 전략을 기획, 수립하고자 실시하는 것입니다.

조사의 내용은 현재까지 진행된 내용에 대한 의견수렴이며, 수소 도시의 구축 방향성에 대한 지자체 의견 조사입니다. 답변하시는 내용은 통계분석 및 향후 사전기획 내용 작성에 활용될 예정입니다.

바쁘시더라도 시간을 내시어 협조해 주시면 감사하겠습니다.

2019. 03. 13

고려대학교 이 관영 교수

[Part Ⅰ] 응답기관(자) 정보

제안자	기관명		부서명	
	직 위		성 명	
	주 소			
	E-mail			
	전 화		F A X	

[Part Ⅱ] 개인정보 수집 동의서

주소	은행명	통장번호

본인의 개인정보의 수집 및 이용하는 것에 동의하십니까?

☐ 동의함 ☐ 동의하지 않음

2019년 03월 일

동의자 : (인)

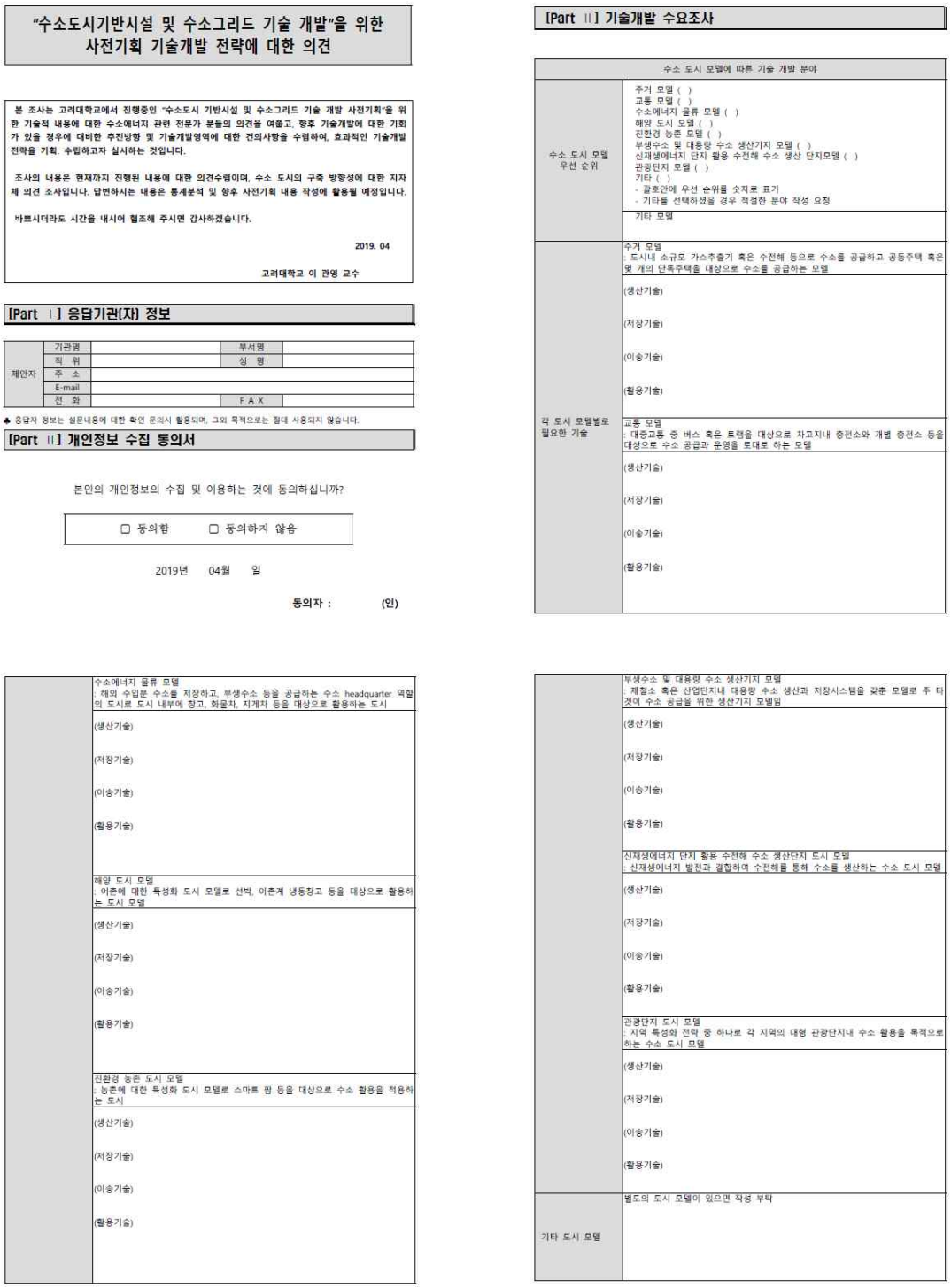
[Part Ⅲ] 지자체 의견

1. 지자체 특화 모델	(해당 지자체별 자체 계획안 : 지역 특성화 전략)
	(지자체 별 부지 확보 여부)
	(수소 수급 계획안)
	(수소 도시 구축을 위한 기 구축된 인프라 여부)
2. 수소 도시 구축을 위한 지자체 의지	(지자체 내 혹은 별도의 잠재적인 민간 참여 기관 여부: 있을 경우 list)
	(지자체 투자계획 여부 및 규모)
	(주민 수용성 해결을 위한 대책 혹은 향후 계획)
	(수소 공급을 위한 지자체 만의 법/제도화 계획)

위 사항외에 추가 의견이 있을 경우 기입을 부탁합니다.

그림 4.3. 지자체 수소 도시 구축 계획

- **(3차 기술 수요조사서)** 수지자체 의견 수렴을 위한 방안으로 현재 제시된 모델들에 대한 의견과 지자체 자체 수소도시 구축 계획에 대한 조사를 실시함



"수소도시기반시설 및 수소그리드 기술 개발"을 위한 사전기획 기술개발 전략에 대한 의견

본 조사는 고려대학교에서 진행중인 "수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술 개발 사전기획"을 위한 기술적 내용에 대한 수소에너지 관련 전문가 분들의 의견을 여쭙고, 향후 기술개발에 대한 기회가 있을 경우에 대비한 추진방향 및 기술개발영역에 대한 건의사항을 수렴하여, 효과적인 기술개발 전략을 기획, 수립하고자 실시하는 것입니다.

조사의 내용은 현재까지 진행된 내용에 대한 의견수렴이며, 수소 도시의 구축 방향성에 대한 지자체 의견 조사입니다. 답변하시는 내용은 통계분석 및 향후 사전기획 내용 작성에 활용될 예정입니다.

바쁘시더라도 시간을 내시어 협조해 주시면 감사하겠습니다.

2019. 04

고려대학교 이 관영 교수

[Part Ⅰ] 응답기관(자) 정보

제안자	기관명		부서명	
	직 위		성 명	
	주 소			
	E-mail			
	전 화		F A X	

♣ 응답자 정보는 설문내용에 대한 확인 문의시 활용되며, 그외 목적으로는 절대 사용되지 않습니다.

[Part Ⅱ] 개인정보 수집 동의서

본인의 개인정보의 수집 및 이용하는 것에 동의하십니까?

☐ 동의함 ☐ 동의하지 않음

2019년 04월 일

동의자 : (인)

[Part Ⅱ] 기술개발 수요조사

수소 도시 모델에 따른 기술 개발 분야	
수소 도시 모델 우선 순위	주거 모델 ( ) 교통 모델 ( ) 수소에너지 물류 모델 ( ) 해양 도시 모델 ( ) 친환경 농촌 모델 ( ) 부생수소 및 대용량 수소 생산기지 모델 ( ) 신재생에너지 단지 활용 수전해 수소 생산 단지모델 ( ) 관광단지 모델 ( ) 기타 ( ) - 괄호안에 우선 순위를 숫자로 표기 - 기타를 선택하셨을 경우 적절한 분야 작성 요청
	기타 모델
각 도시 모델별로 필요한 기술	주거 모델 : 도시내 소규모 가스추출기 혹은 수전해 등으로 수소를 공급하고 공동주택 혹은 몇 개의 단독주택을 대상으로 수소를 공급하는 모델
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	교통 모델 : 대중교통 중 버스 혹은 트램을 대상으로 차고지내 충전소와 개별 충전소 등을 대상으로 수소 공급과 운영을 토대로 하는 모델
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	수소에너지 물류 모델 : 해외 수입분 수소를 저장하고, 부생수소 등을 공급하는 수소 headquarter 역할의 도시로 도시 내부에 창고, 화물차, 지게차 등을 대상으로 활용하는 도시
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	해양 도시 모델 : 어촌에 대한 특성화 도시 모델로 선박, 어촌계 냉동창고 등을 대상으로 활용하는 도시 모델
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	친환경 농촌 도시 모델 : 농촌에 대한 특성화 도시 모델로 스마트 팜 등을 대상으로 수소 활용을 적용하는 도시
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	부생수소 및 대용량 수소 생산기지 모델 : 제철소 혹은 산업단지내 대용량 수소 생산과 저장시스템을 갖춘 모델로 주 타겟이 수소 공급을 위한 생산기지 모델임
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	신재생에너지 단지 활용 수전해 수소 생산단지 도시 모델 : 신재생에너지 발전과 결합하여 수전해를 통해 수소를 생산하는 수소 도시 모델
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
	관광단지 도시 모델 : 지역 특성화 전략 중 하나로 각 지역의 대형 관광단지내 수소 활용을 목적으로 하는 수소 도시 모델
	(생산기술)
	(저장기술)
	(이송기술)
	(활용기술)
기타 도시 모델	별도의 도시 모델이 있으면 작성 부탁

그림 4.4. 3차 기술수요조사서

2. 수소 도시내 수소 공급 목표	단기적으로 (5년이내) 수소 에너지를 공급한다고 할 경우 도시내 적절한 공급 목표는 ? ( ) 1. 10% 이내 2. 10~30% 3. 30~50% 4. 50 % 이상
	장기적으로 (10년이후) 수소 에너지를 공급한다고 할 경우 도시내 적절한 공급 목표는 ? ( ) 1. 10~30% 2. 30~50% 3. 50~70% 4. 70% 이상
3. 국내 수소 수급 목표와 비교할 때 적절한 수소 공급 수단	단기적으로 (5년이내) 수소 에너지 공급을 위해 가장 적절한 수단은? ( ) 1. 가스 추출 2. 수전해 3. 석탄/바이오메스 가스화 4. 수입 5. 기타
	장기적으로 (10년이후) 수소 에너지 공급을 위해 가장 적절한 수단은? ( ) 1. 가스 추출 2. 수전해 3. 석탄/바이오메스 가스화 4. 수입 5. 기타
	만약 수소의 수입이 필요할 경우 최적의 대상 국가는? ( ) 1. 중동 2. 호주 3. 동남아 4. 유럽 5. 미국 6. 기타
4. 국내 수소 관련 기술 개발 수준	수소생산기술
	1. 추출수소 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	2. 수전해 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	3. 석탄/바이오메스 가스화 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	수소저장기술
	1. 가스 압축 저장 분야 (700 bar 이상) ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	2. 액화 저장 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	3. 액상 저장 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	4. 금속 고체 저장 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계

	수소이송기술
	1. 가스 압축 트레일러 분야 (450 bar 이상) ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	2. 액화 수소 트레일러 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	3. 수소 이송 철도 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	4. 수소 이송 선박 저장 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	5. 수소 이송 파이프 라인 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	수소활용기술
	1. 수소 충전소 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	2. 수소 자동차 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	3. 수소 버스 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	4. 특수 차량 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	5. 건물용, 발전용 연료전지 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계
	6. 수소발전용 터빈 분야 ( ) 1. 원천기술개발단계 2. 핵심기술 실용화 단계 3. 실증화 단계 4. 상용/안정화 단계

위 사항외에 추가 의견이 있을 경우 기입을 부탁합니다.

그림 4.4. 3차 기술수요조사서 – 계속

2. 기술 수요 조사 결과 및 분석

□ 수소 도시의 정의

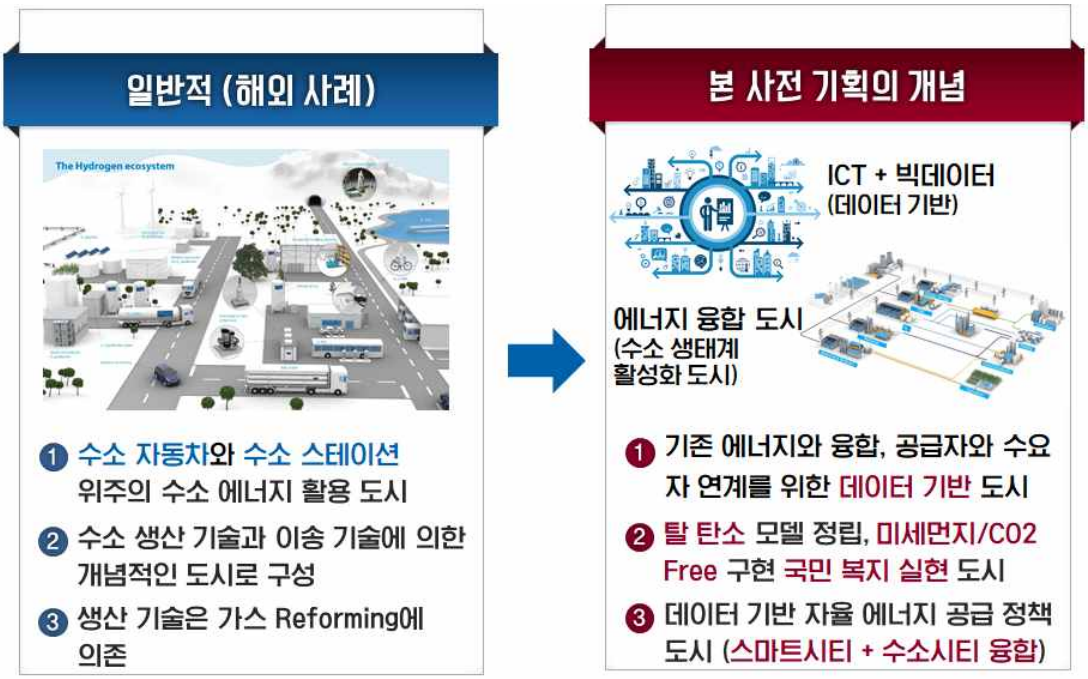


그림 4.5. 수소도시의 정의

○ "도시내 에너지 공급 시스템을 전기와 수소만으로 구성하는 도시"라는 일반적인 개념에 더해서 그림 4.5에서 처럼"**수소 공급자와 수요자를 데이터 기반으로 연계한 미세먼지/CO_2 free의 국민복지 실현 도시**"로 규정

- (생산) 신재생에너지 기반으로 **수전해 기술**을 **기반**으로 **수소 생산**함으로써 CO_2 Free를 구현
  * 수소를 추출수소 등을 통해 공급하는 도시를 과도기적 수소 도시 (Transition Hydrogen City)로서 정의
- (공급) 도시내 **파이프라인을 기반**으로 **수소 공급 네트워크** 구축함으로써 도시내 공급자와 수요자간 **양방향 직접적인 연계**를 통한 의사소통 구조를 구현
- (활용) 도시내 **생활환경 시스템** 전반과 **교통 시스템**을 위주로 수소 에너지 공급 시스템을 구축

□ 수소 도시의 정의에 대한 자문 결과

요 약

○ 스마트시티와의 결합을 통한 차별화 포인트와 도시내 수소 에너지의 비중을 정의하고, 신재생에너지와의 조합을 통한 청정도시 이미지에 대한 재고

○ 스마트 미터링에 의한 에너지 활용도를 분석하고, 블록체인 기반의 에너지와 전력거래 등의 ICT 기술을 적용. 특히 EMS와 관리 프로그램 개발이 필수

○ 현 단계에서 경제성있는 생산단가를 맞출 수 있는 기술은 없기 때문에 개질기술, 수전해 기술, 부생수소 등을 모두 고민하고,영여전력 활용방법과 이송, 저장 비용을 고려한 목표 단가를 도출할 필요가 있음

○ 수소도시 정의 에 따른 차별성과 추가내용

– (차별화 포인트) 스마트 시티, 해외 플랜트 건설에 의한 수소 생산

– (수소도시 정의) 수소 활용량에 대한 범위와 신재생에너지 기반, 그리고, Low Carbon 등의 비전적 정의를 명시

· 구체적으로 전력내 수소의 활용도, 수송연료의 수소 활용도 등을 명시
· 에너지 자립도에 대한 정의를 고려하는 것도 방법
· 광역적 수소도시 인프라와 협의적 규모의 인프라를 그리드로 연결·조합하여 에너지 공급체계를 정의
· 수소도시의 운영 시점 및 구체적인 목적 및 목표의 명확한 선행 검토가 필요함
· 복지 모델에 대한 개념을 넣어서 새로운 이미지 창출
· 친환경과 에너지 자립/안보라는 측면에서 정의

○ 수소도시 내 ICT 기술 적용

– (타당성) 에너지 데이터의 수집&통합관리의 관점에서 ICT는 필수이며 Block chain으로 사용자간 에너지거래 활성화 관점에서 적절

– (적용기술) 에너지와 환경(물/수자원) 관련 스마트미터, 센서, 통신 및 전력망, 수집 데이터 분석기술(인공지능), 블록체인 기반 에너지/전력 거래, 전력 도/소매 가능 구조, 드론을 이용한 수소안전관리

· EMS 도입과 management 프로그램의 개발이 필요
· Digital Twin 등 미래 수소도시에서 제공하는 서비스를 고려하여 기술 개발

- (적용분야) 스마트시티 사업단과 연계하는 방향을 고려
  · 개인대 개인, 개인대 단체 간의 그리드 연계
  · 중앙과 지역을 연계하는 방안을 고민 (P2P, P2G 등)

○ 수소생산 단가

- (경제성 생산 기술) green H_2만을 고려할 때 국내 Resource&quality 측면에서 경제성 확보 가능한 생산단가를 맞출 수 있는 기술은 현재 없음
  · 따라서, 초기부터 수전해, 수전해+하이브리드, Reforming 방식 혼용 고려하고, 향후 개질기술과 특히 수전해 기술의 상용화를 위한 업드레이드 추진
  · 단기는 부생수소, 장기적으로는 수전해 기술이 적절하다고 봄
  · 생산단가는 환경(유가, 전력비용, 재료비용 등)에 대한 높은 의존도고 이하여 range로 계산될 수밖에 없음
  · 현실적 생산단가 기반(수소수입 등) 수소도시 구축 및 운영 데이터 확보
  · 생산용량에 따른 비용 저감과 저장 및 운송비용에 대한 고민을 해야 함 (현 단계에서 생산비용보다 높음)
- (생산단가 범위) 개질방식의 현재 수준은 50,000 Nm^3/h 이상일 경우 5,000원/kg 정도 수준이며, 수전해장치의 생산단가도 5,000원/kg 수준으로 결국, 수전해장치의 경우 장기가 아닌 단기 과제로 4,000원/kg 이하로 한다면 적절
  · 현재 전기평균단가 172원/kW으로 보면 722.4원/m^3 H_2 로 kg으로 환산하면 7,300원/kg H_2 로써 결국 전기 단가가 중요하므로, 제한적으로 야간전력 혹은 비가동 전력 활용을 고려
  · 현재 부생수소 가격은 공급단가가 5,000~8,000원/kg
  · 현재 기준으로서의 생산단가 분석은 적절하며, 향후 생산단가와 저장, 이송·공급단가와 연계해 분석 필요함. 또한 신재생 에너지를 이용한 생산단가 분석은 적절함
  · 장기와 단기에 대한 명확한 기간에 대한 정의
- (경제성 평가) 생산단가 외 수소 사용량이 따른 단계 구분도 병행적으로 고려할 필요가 있음 (Market penetration 별 최적 기술 조합이 달라짐)
  · 기획 과정에 따른 모델 설정과 이에 따른 경제성 평가 방식 고민
  · 에너지 기술/경제 연구원
  · 에너지 경제, 법/제도 검토
  · 에너지 생산/공급/저장/관리 생애주기 분석

□ 수소 도시 모델별 필요 기술

요 약

○ (해외 협력모델) 해외 교통 및 수소 생산 후 국내 이송이 가능한 도시로 수소 충전소 기술, 정치형 퓨얼셀 기술, 에너지 융합그리드, 수전해 기술과 신재생에너지 접목 기술, 저장, 이송장치 (선박 등) 기술개발 필요

○ (물류 도시모델) 국내외 수소 생산과 수입 그리고 대형 수소저장의 중심도시로 수소 배관망, 수소 저장 (액화, 기체 압축), 수소 철도 및 선박 기술이 조합되어야 함

○ (공공 주택 모델) APT, 다세대 등 단위세대, 공동주택 단지를 토대로에 수소경제 기반이 구축이 가능한 도시모델로 수소배관망을 활용한 공동주택 내 연료전지를 사용하여 에너지를 공급하는 도시. PEMFC, SOFC 기반의 에너지 공급기술 주도

○ (공공 빌딩 모델) 중앙집중식 연료전지 기반으로 에너지 공급이 이루어지는 빌딩들. 중급 PEMFC, SOFC 등에 의한 전력 공급기술이 주도적이며, 에너지 관리, 비상 전력 기술 등이 요구됨

○ 해외 협력 모델에 대한 필요기술

- (정의) 해외 수소 생산 도시로부터 국내 기술을 통한 대용량 수소 생산, 저장과 운송이 가능한 해외 협력 도시 모델
- HRS (수소충전소), 수소자동차, 정치형 퓨얼셀, 에너지 융합 그리드 기술의 조합이 필요하며, 수소 이송용 선박 등이 필요함
- (생산) 신재생에너지와 접목된 수전해 기술을 통해서 수소를 생산 등의 청정 수소 공급이 가능한 대형 플랜트
- (저장) 대량 수소 저장 플랜트 기술이 필요 (LOHC 수소화 플랜트, NH3 생산 플랜트 등)
- (이송) 수소 선박을 개발하여 활용하고, 액화기술 개발이 필수

○ 물류 도시 모델에 대한 필요기술

- (정의) 생산, 저장, 이송, 공급에 체계적으로 이루어지는 인프라 구축의 도시로 국내외 수소 생산과 수입 그리고 대량 수소저장의 중심도시

· 수소 도시내에 수소를 활용할 수 있는 전반적이고 공공성이 강한 물류 도시모델이라 정의

- (필요기술) 수소자동차, 수소 저장기술(액화, 고압저장), 수소 배관망 기술, 공공 차량용 (지게차 등) 인프라, 수소 충전소, 수소철도 및 수소 선박 기술
  · 대용량 액화, 액상 수소 저장용기 개발
  · ICT를 연계한 에너지 그리드 구축
  · 허브스테이션 설계기술

그림 4.6. 해외 협력 모델 (안) (위: 단기 교통모델, 아래: 장기 해외 수소 생산모델)

- (기타) 주민 수용성 (발전소 입지 반대)을 고려 시 대규모 수소생산은 저장 시 위험성/환경성 등 때문에 불가능하므로 Model이 비합리적일 수 있음

○ 공동 주택 모델에 대한 필요기술

- (정의) APT, 다세대 등 단위세대(500세대 이내)에 수소경제기반이 구축이 가능한 도시모델로 수소배관망을 활용한 공동주택 내 연료전지를 사용하여 에너지를 공급하는 도시
  · 가정용 연료전지 기반 수소 활용 도시

- (필요기술) 개별 주택을 위한 1 kW 미만의 FC, 10~25kW 정치형 PEMFC, SOFC 기술, 큰 아파트 단지를 위한 중앙에너지 공급형으로서 baseload 공급을 위한 min 400kW급 FC,
  · 핵심적인 기술로 운영을 위한 전력 제어 및 모니터링 기술과 배관망 구축 기술
  · 음식물 쓰레기를 활용한 수소생산 및 저장
  · 공동주택 내 신재생에너지와 연계한 수소 생산과 저장 기술
  · 제로하우스, 패시브하우스의 개념을 연계
- (기타) 실제 구축보다는 구축 이후 운영에 대한 기술에 집중해야할 필요가 있음
  · 구축 후 운영의 지속가능성이 매우 중요, APT/주택 준공 후 경제성 문제로 운영되지 않을 가능성이 높기 때문에 지속가능한 전략 구축
  · 구축 후 수소기술을 지속적으로 운영하고 축적된 운영 data를 확보. 빅데이터 기반 최적솔루션 개발, 부가가치 사업, 운영 유틸리티 개발을 위해서 플랫폼 기반 민간 운영방안 모색

○ 공공빌딩 모델에 대한 필요기술

- (정의) 중앙집중식 수소 연료전지를 활용하여 전력과 온수를 공급하는 공공빌딩
  · 건물용 중급 연료전지 기반의 에너지 공급이 이루어지는 공공빌딩
- (필요기술) 25~100kW 정치형 FC, 공간별 전력구급 관리기술, 비상 대기전력 저장기술 (비상전원)
- (기타) 수소경제를 빌딩/아파트 도입 후 환경적인 부분을 강조할 수 있는 요소 추가
  · 수소기술 적용에 따른 친환경성(미세먼지↓, CO_2↓), 시민체감지수 발굴(쾌적성, 단지내 온도유지 등)

□ 추가 수소도시 모델 제안

요 약

○ (스마트 팜 도시) 도시내 스마트 팜을 FC 기반으로 구축하여 도시내 녹지 생산이 가능한 도시 구축

○ (해양 수소도시) 선박, 크루즈 등을 대상으로 수소에너지를 공급

○ (수소 자립도시) 수소 만으로 에너지를 공급하는 시범 구역

○ (기타) 수소에 대한 생산 기술별, 수소 거점 단지 등이 분류될 수 있으나, 타부처와의 중복성, 도시개념과의 합치성 등이 필요함

○ 추가 필요 도시

- (스마트 팜 도시) H_2 기반 FC 사용하여 도시 smart farm 구축모델
- (해양 수소 도시) 부산시, 인천시 등 해양도시기반에 맞는 수소시티 건설모델 도출 (선박, 크루즈등)
- (수소 자립 도시) 소규모의 지역, 오지(섬 포함) 등을 독립된 도시내 에너지를 수소로만 공급하는 100% 자치 구역 (해상도시등 해상풍력발전을 이용한 도시건설)
- (수소 시티 고려사항)

· 국내 상황을 고려할 때 100% 자급 H_2 city는 불가하므로 H_2 city내 에너지 자급율 고민 필요

· 본 사업이나 향후 국내에서의 실증 및 일부 신규도시 건설에서 일부 H_2 city를 구현하여 기술 확보 → 해외 신도시 건설 사업에 적용 → 건설업 신규 해외 수주 모델 개발 필요

· 지자체 자체가 보유하고 있는 기본 전략 life line 망을 파악하고 해당 자자체의 신재생 에너지(태양, 바람, 바이오가스, 매립지, 하수처리장 등)의 입지적 조건을 융합할 수 있는 도시 발굴 및 수소원을 구할 수 있는 도시와 연계

· 특정 도시 내 사용 에너지 (전기, 열) 중 일부를 수소 연료 전기가 감당하고, 이에 대한 경제성/환경성(Co2 감축 등) 분석 필요

· 회의에서 나온 안건처럼 : 수소 생산 단지, 신재생 에너지 생산 단지, 수소 거점 단지 → 이런 예시와 같이 분류하는 것이 이해가 빠르고 실용적임. 다만 이 경우 타 부처와의 중복성과 도시 개념과의 합치성 등에 문제가 있음

□ 지자체 수소 도시 모델의 의견

요 약

○ (7개 모델에 대한 의견) 각 모델별 고려사항을 제시하였으며, 수소 공급이 가능한 도시 위주로만 고려하지 말 것을 주문하고, 탈탄소 등에 대한 환경적 측면을 더 고려하는 방향 제시
  - 추가 모델로 관광단지 모델을 제시

○ (적절성) 지자체 특화모델을 중점적으로 검토 요구하였으며, ICT 기술 접목에 대한 가능성을 재검토
  - 재원 투자의 가능성과 인프라 구축 가능성을 고려하여 수소 도시 구축전략 추진
  - 단계별 추진을 통해 1차 단기 시범도시 이후 2단계 장기 모델 구축 가능성 검토
  - 지자체 운영을 위한 지속가능한 정책적 방향성 제시

ㅇ (국가, 지자체, 민간 역할 분담) 국가는 재원 지원, 실증사업 지원, 제도 정비, 지자체는 운영비 지원, 주민과의 접점 구축, 활용분야 인프라 구축, 민간은 기술개발과 경제성 확보

ㅇ (주민 수용성) 국가는 TV등을 활용한 홍보 정책, 지자체는 주민 교육강화, 민간은 기술개발과 안전성 확보

ㅇ 총 7가지 모델에 대한 지자체 의견을 수렴

- 각 지자체 별로 실질적인 모델(안)에 대하여 개별 용역을 실시하고 있는 것으로 파악되고 있으나, 몇몇 도시는 아직 용역중에 있어 의견 제시에 조심스러움
- 울산, 충남, 여수 등의 수소 공급이 가능한 지역이 외에도 포괄적인 접근을 요구하고 있으며, 새로운 터전과 수소 활용의 관점 등 복합적으로 접근과 새로운 창조적 관점 필요
- 수소경제가 안착되기 위해서는 경제성 관점도 중요하지만 환경적 가치에 대한 인식을 통해 다소 경제성이 낮더라도 사회적 비용을 지불 할 수 있다는 합의가 중요
- 탈탄소 모델에 대한 중요성을 더 부각시켜주길 바람

ㅇ 주거모델

- 음식물 쓰레기 이용 바이오가스, 신재생에너지 활용 수전해 등은 아파트단지 단위의 좁은 영역에서 충분한 수소량을 확보하기에 적합하지 않음. 중앙집중식 수소공급체계에서 전기와 열을 효율적으로 활용하고, 누진제를 완화할 수 있는 경제성 확보 방향성 제시 필요

ㅇ 교통모델

- 수소버스 운행을 위한 버스 보급 전략 및 계획, 충전소 구축여부 등을 고려하고, CNG 충전소 천연가스 (파이프라인) 공급 가격 대비 경쟁력 있는 수소공급 가격을 실현할 수 있는지 중점 검토
- 수소 트램을 활용한 친환경의 교통 수소도시모델을 한 테마로 고려

ㅇ 물류모델

- 지게차 활용 등은 “물류모델”이라기보다는 산업단지 모델로 변경필요. 지게차를 산업단지, 물류시설등에서 이용하고, 고체수소저장 기술을 적용하는게 바람직.

- 물류모델은 수소를 수입할 수 있는 항구, 저장시설, 튜브트레일러/배관 등 운반 시설 등이 중요함. LOHC, 고체수소저장, 고압 튜브트레일러 기술 등에 대한 기술 수반

○ 해양도시모델

- 어선에 적용할 수 있는 연료전지 선박기술이 확보되어 있는지 확인이 필요하며, 항구에서 수소를 수급하고 충전할 수 있는 방안이 동시에 고려되어야 하므로 단기적인 추진이 어려울 것으로 전망. 연구개발 우선 필요
- 고체수소로 저장 및 이송해 어선에서 활용하고 액화수소 저장을 통해 냉동창고에 냉매로 활용하는 방안으로 양분하기 보다는 액화수소 저장, 이송, 활용으로 단일화 하는 것이 경제성 면에서 바람직하다고 생각됨

○ 부생수소 및 대용량 수소 생산기지 모델

- 부생수소가 발생하는 지역은 배관 확장(지선)을 통한 수소충전소, 연료전지 발전 등을 포함한 단기적 수소도시 모델에 집중할 필요가 있음. 소규모 수소 community는 대기업 참여없이는 실현이 어렵고, 제한적인 모델로 판단됨
- LNG개질을 통한 수소 생산시 발생하는 CO_2는 흡착/제거에 그치지 않고 액화탄산 제조를 통해 반도체 세척, 용접, 청량음료, 시설채소 농가 등에 공급하거나 탄소섬유 제조 등 산업용으로 활용하는 방안도 검토 필요

○ 신재생에너지 단지 활용 수전해 수소 생산 단지

- RPS 사업을 통해 발전된 전력을 바싸게 매전하고 있음. 비싼 전기로 수소를 만들 경우 정부차원의 보상방안이 필요. 단위구역에 맞춘 실증이 필요하며, 재생에너지 잉여전력이 발생하는 시점을 고려한 비즈니스 모델 확립 필요

○ 관광단지 모델

- 새롭게 개발되는 관광지(테마파크, 리조트 등)의 에너지 기반을 수소화하는 모델

○ 적절성 검토

- 재원투자 규모, 경제성, 단기적 인프라 구축 가능여부 등이 고려되어야하며, 정형화된 모델이 아니라 지자체에 특화된 모델을 장려할 필요가 있음
- 상기에 제시된 모델들은 수소 생산, 저장, 이송, 활용 관점에서 기반이 전무한 지자체에서는 구현하기 어려운 모델로 판단

- 재원투자의 한계, 지자체의 투자 가능성(현금, 현물), 구현 가능한 수소도시 모델의 선진성, 경제성 등을 종합하여 적합한 지자체를 선정 필요
- 수소 인프라가 전무한 지자체의 경우 수소 생산, 유통 및 활용 방안의 창의성과 혁신성을 토대로 차별화 필요
- 사업공고시 정형화된 수소도시 모델 중에서 선택할 수 도 있지만, 대부분 신규로 구축해야 할 수도 있음
- 국토부에서는 예시 모델을 제시하고 지자체 특색에 맞게 융합/변형하고, 기 구축 인프라를 활용한 차별화된 모델을 제시할 수 있도록 유도필요 (지역특화, 투자비 절감 등 기대)
- 생산기지는 대부분 연안도시 혹은 수도권 외곽에 위치하고, 활용은 경제성을 고려할 때 수도권이 유리하므로 연계방안에 대한 적설성을 검토해야 함.
- 수소산업이 전반적으로 성숙되지 않은 상태에서 ICT기술 접목 등은 사업의 확산에 도움이 될지 여부를 검토해야 함. 기초 인프라 및 활용분야에 있어서 어느 정도 확산이 된 이후에 접목하는 것이 바람직할 것으로 판단.

○ 수소 도시 모델 구축 전략

- 단계별 추진 전략 : 1차 모델 실증 후 장기 모델을 실증할 수 있는 토대를 제시하고 물류인프라와 연계한 실증 모델을 추진
- 수소 배관 등의 일부 인프라를 국비/지방비/민간의 공동 투자 전략 방안
- 수소 교통은 수소도시 구축 모델간 협력을 통해서 시범 운영 전략 추진
- 정보공유와 장기적인 운영 전략이 필요하므로 수소도시 구축이후 지자체 동기부여를 위한 정책적 방향성 도출 필요
- 생산, 저장, 활용에 있어서 CO2프리에 특화된 수소도시 모델 필요
- 가장 많이 필요로 하는 것은 중앙정부의 예산 지원과 구성요소를 위한 기술개발 지원임

○ 민간, 지자체, 국가의 역할 분담

- (국가) 핵심 인프라 구축 지원 (배관, 충전소, 수소생산시설, 저장시설 등 약 70% 이내 지원), 이를 위한 기술개발과 국제교류

· 기초 기술력 확보를 위한 R&D 사업 및 실증사업 강화
· 기본적인 인프라 구축에 대한 국비 지원 및 관련 제도의 정비
· 중장기 로드맵, 민간 기술개발 및 예산지원

- (지자체) 시설 구축시 약 20~30% 재원 분담, 약 5년 운영을 고려한 운영비 (소비자 입장의 경제성 보완 지원) 및 홍보비 분담.
  · 주민과의 접점 찾기를 통해 주민들수용할 수 있는 한계치를 탐색하고 수소에너지가 지역에 잘 녹아들 수 있도록 주민과 협의 및 정책실행
  · 수소에 대한 안전성 문제를 해소하기 위해 지자체에서 먼저 수소 관용차 보급, 청사 인근 수소충전소 설치, 지자체장이 수소차 사용 등 선도적인 수소활용이 필요함
  · 수소 활용 분야에 대한 인프라 구축
  · 수소도시 구축계획 수립 및 지원
- (민간) 단순 정부재원으로만 실증하는 것은 안되며, 인프라구축(배관, 충전소, 수소생산시설, 저장시설 등)시 민간투자 필요 (많은 비중의 투자를 유치가능한 지자체에 가점 필요)
  · 기술개발을 통한 수소차 및 연료전지 저렴한 소재개발로 전국 상용화 글로벌 기업화 필요
  · 기술개발 및 사업화를 통한 경제성 확보

○ 주민 수용성

- (국가) 사업구성시 홍보사업 (홍보관 구축/운영, 주민지원 등)을 반영하여, 수용성에 대한 노력을 해야함
  · 관련 법률 재정비를 통해 국가 경쟁력 강화 토대 마련에 대한 설명
  · 국가 차원의 수소 산업에 대한 홍보, 사업자에 대한 인센티브
  · 안전성 우선 시설구축 지원과 수소 도시 홍보를 위한 TV 프로그램 등 제작
- (지자체) 대상 부지 확보시 선정단계에서 RISK를 객관적으로 평가하고 수소 기업 및 주민들 대상 설명회, 동의서 등을 받는 역할
  · 관련법 제·개정시 조례를 제·개정을 통한 지역경제 활성화 필요
  · 시민 대상의 교육 정책 및 지속성 확보
- (민간) 수요 주민, 기업을 대상으로 안전성을 입증할 수 있는 설명 자료 준비와 근거자료 등을 제시
  · 수소의 친환경 연료라는 이해와 안전성에 대한 저변확대 필요
  · 민간운영 인프라, 시설에 대한 안전관리 강화

□ 지자체 특화 모델 수요 조사

요 약

○ (공통) 수소 교통에 대한 모델은 모두 제시되고 있으며, 수소경제 구축에 대한 계획이 수립된 광주광역시 울산, 강원도 등에 비해 타 지역은 개념적인 계획임
- 용역중인 지자체가 대부분
- 울산, 강원도를 제외하면 명확하게 부지를 기 확보한 지역은 없으며, 현재 계획중인 부지만 존재

○ (수소 수급) 일반적인 수소 수급 방안은 SMR 방식으로 공급 계획
- 부생수소 공급이 가능한 지역 외에는 SMR 방식으로 추진 계획

○ (수소인프라 및 예정 사업비) 대다수의 지자체는 수소인프라 구축계획 및 예정사업비는 정부 발표에 따라 움직일 가능성 높음

○ (협의중 기업) 일부 지역 기업 (현대자동차, 가스공사) 등과 논의 중이며, 타 국가는 계획 수립단계인 곳도 발견

○ (예상사업비) 정부에서 발표되는 내용에 맞추어 공급 계획

○ (주민 수용성) 홍보 및 교육으로 초점이 맞추어져 있음

○ (법 및 제도화) 대부분의 지자체에서 지방 조례 제정을 언급

지자체		면적(부지)	주요 사업(안)	투자 비용	확보계획
강원도	삼척시	약 **3.2**㎢ (근덕면 부남리·동막리 일원) ※원전해제 예정부지	❖ (중점) **액화수소도시** • 연료전지 발전시설 100MW급 1개소 • **액화수소플랜트**, 수전해 실증단지 • 수소빌리지 1,000세대, 친환경 리조트 • 수소 및 에너지 ICT 산단 조성 • 5G 액체수소 드론센터 구축 • 스마트팜 마을기업	❖ **총 15,844억원** (지자체) 1471 억원 (민간) 14,373 억원	미정 ※ 현대차, 넬(Nel), JNK히터, 에릭슨 엘지 등과 협약 체결
경기도	화성시	**24**㎢ 1·2기 동탄신도시에 집중 구현	❖ (중점) **수소교통도시** • 공영버스차고지에 소규모 생산기지 구축 • **수소버스** ('20년 20대 → '22년 50대) • 수소 **연료전지 트램** 운영(1·2호선) • 물류센터연계형 **수소화물차** 도입 • 동탄2신도시에 가정용 연료전지 보급	❖ **총 147.5억원** (지자체) 117.5 억원 (민간) 30억원	용역을 지금 실시 (6월 중) 협의중

지자체		면적(부지)	주요 사업(안)	투자 비용	확보계획
	평택시	**7.6**㎢ (포승읍, 고덕 신도시 등)	❖ (중점) **수소생산도시** • 추출수소 기반 연료전지 시범사업(20MW) • **해상태양광** 200MW, 해상풍력 50MW • 고덕 **하수처리장 메탄가스** 활용 수소생산 • 가정용 연료전지 1,300세대 • 수소지게차 100대, 물류트력 10대 • 4계절 시설채소단지 수소활용(스마트팜) • 해외 액체수소 인수기지 건설	❖ **총 1,300억원** (민간) 1,000억원 (시 도시공사) 300억	용역을 지금 실시 (6월 중) 협의중
	안산시 시흥시	반월·시화산단 (**38**㎢) 일부	❖ (중점) **수소 스마트산단** 조성 • SPG 기존배관 연장, 수소충전소 건립 • 산단 내 충전소 2개 설치 • 수소지게차 시범사업, 수소 통근버스, 수소트럭 등 수소기반 산업단지 구현	계획 중	구상단계
	※ 도 차원에서 수소배관망 지원사업, 수소연료전지 보급 지원사업 계획				
충북	충주시	서충주 신도시 (청주 기업도시)	❖ (중점) **수소생산도시** • **충주댐** 수력발전을 통한 **수전해** 수소생산 • **LNG 정압소**를 활용한 추출수소 생산 • 수소차 부품 클러스터 조성	지자체 자체 계획은 없음 (산업부 공모사업으로 연계추진예정)	미정
충남	홍성군 예산군	약 **9.95**㎢ (**내포신도시**) * 아산(수소버스), 당진(수소생산) 연계 가능	❖ (중점) **발전용 연료전지 기반 도시** • **연료전지 공동주택**(공무원아파트 497세대, '19년 분양예정 50만세대) • 수소충전소 2개소 신규 설치(버스연계형, 발전사업 연계형) • **중규모 수소생산기지**(600N㎥/h) • **60MW급 연료전지발전소** • 내포-홍성, 내포-예산 **광역 수소버스** 대체	지자체 자체 계획은 없음 (정부 발표 이후 맞춰서 계획 수립)	미정
전북	전주시 완주군	전주시 검토중 완주군 **4**㎢	❖ (중점) **수소교통 등 수소생활 기반도시** • 수소충전소(현대차 內, 전주시) 2개소 • **전주**(관광지 노선) 내 **수소버스**(16대) 운행 • **수소밸리**(1MW급 수소연료전지 발전소 등 수소산업체, 연구소) • **5,000세대 연료전지 공동주택**(발전소 연계)	계획 중 (용역 중)	몇몇 기업 등 300억 투자 논의
전남	여수시	여수산단, 율촌산단, 삼동 산단 등	❖ (중점) **수소교통 이후 주거모델**로 이행 • 율촌산단 또는 삼동 신산단을 **수소산단**化 • 부생수소/해상풍력, 태양광 등 활용 수소생산	하반기 수소충전소 30억 용역은 예산은 확보되었으나	미정 (정부예산이후 확정하고자 함)

지자체	면적(부지)	주요 사업(안)	투자 비용	확보계획
			아직 발주예정	
경남 창원시	7.6㎢	❖ (중점) **수소차·충전소 중심** 도시 • 연료전지 전후방 산업 특성화 산업단지 조성 • 수소에너지 순환시스템 실증단지 구축	회신없음	미정
세종특별시	미정	❖ (중점) **친환경차**(전기·수소) **메카도시** • 수소차('30년 3만대), 충전소('30년 24기)	회신없음	미정
울산광역시	미정 (태화강역 복합환승센터, 온산읍 일대, 울산테크노산단)	❖ (중점) **수소에너지 산업도시** • **수소배관**을 연결한 **수소충전소** • 1차 수소타운을 확장한 **2차 수소타운** • **광역수소버스**(울산-경주-포항) • 공동주택, 상업용건물, 공공기관, 학교, 산업체 등에 수소 연료전지 보급	❖ **총 86억원** (지자체) 60 억원 (민간) 26 억원	두산, 부승산업사 이엠솔류션 등 50여개
광주광역시	미정(진곡산단, 빛그린산단)	❖ (중점) **수소중심 친환경자동차 선도도시** • **수소산업 클러스터** 조성 • 수소 **연료전지 발전소**	지자체 자체 계획은 없음 (산업부 R&D 참여 계획)	현대 포함 기업 20개와 논의 용역 진행중 (9월까지)
대전광역시	미정(구암동 복합환승센터 인근, 금오동 매립장 등)	❖ (중점) **수소 연료전지 행복주택 실증도시** • 연료전지 공동주택 600세대 (음식물 폐기물 활용 수소생산, 옥상 스마트팜) • 61MW급 연료전지 발전소	국비 결정에 따른 결정 (국비의 30%)	도시공사와 진행 (민간 제외) * 6월 말까지 용역 결과

○ 강원도

– 청정 동해안 중심의 피미도시로 조성할 계획

– (부지 확보) 기 확보됨 (대진원전부지 290만㎡ 가운데 79만㎡은 강원도개발공사가 이미 확보하였으며, 추후 매입을 통하여 확보해 나갈 계획)

– (수소 수급) 삼척LNG 기지를 중심으로 대규모 생산시설과 액체수소 플랜트를 구축 후 생산예정(단기)

· 금년 중 인근 동해시와 원주시를 중심으로 P2G사업과 바이오가스 개질 사업 실증 예정(단기) → 추후 수소도시 모델에 적용

– (인프라 기 구축)

· 수소생산시설 500kg이상/day 구축 : 2020년까지

· 연료전지 발전단지(100Mw)구축 :2019~2021년

· 수소충전소 구축 : 삼척시 2개소(2019년 1개소, 2020년 1개소)

- (협의중인 기업) 강원테크노파크, 동서발전, 에너지 및 ICT 관련 대기업, 중소기업 다수 참가 예정, 글로벌 기업 일부(스웨덴, 캐나다, 노르웨이 등)가 협의 중에 있음
- (예상 사업비) 총 사업비 1조 7천억원 내외
  · 연료전지 발전단지 5천억원, 생산 및 저장운송 인프라 2천억원, 기타 도시 기반시설 등 1조원 내외
- (주민 수용성) 현재 해당지역 주민들을 대상으로 과기부의 에너지 스마트 빌리지 사업(총사업비 27.6억원)을 실시하고 있어 주민공동위원회가 구성되어 있어 실질적인 커뮤니케이션을 진행중
  · 향후 주민공청회 등을 통해서 공식화시켜 나갈 계획임
- (법/제도화) 수소산업 활성화 자율조례 : 4월 중 공포·시행 예정
- (기타) 강원도는 과기부의 에너지기반 스마트빌리지 조성사업(2019년 3월 선정)과 국토교통부의 스마트챌린지사업(10억+100억)을 통해서 수소도시 예정지역에 대한 실증을 진행중
- (사업 기간) `19년 – `25년
- (예산) 1조 7,011억 (국비 1,167, 지방비 1,471, 민자 14,373)
  · 생산·발전 : 12,559억 (국비 335, 지방비 1,020, 민자 11,204)
  · 주거·산업 : 3,450억 (국비 532, 지방비 249, 민자 2,669)
  · 에너지 혁신밸리 : 1,002억 (국비 635, 지방비 220, 민자 7,145)
- (수소 생산 및 유통) 삼척 LNG 기지 내 추출기를 통한 수소 생산과 태양광을 활용한 수소생산하고, 생산된 수소를 액화플랜트를 통해 액화수소 형태로 저장하고 유통
- (수소 활용) 수소타운 및 충전소, 농업 및 관광용으로 활용
- (수소 충전소) 수소버스 등을 위한 수소충전소와 수소어선 활성화를 위한 해양충전소 구축
- (수소 타운) 분산형 연료전지 발전소를 통한 거주 타운내 난방·전기 공급
- (에너지 자립형 스마트 팜) 연료전지 발전과 스마트 팜을 결합하여 열과 전기를 공급하고 발생된 CO_2를 공급
- (수소기반 친환경 리조트) 연료전지 발전에서 발생하는 에너지 이용한 냉난방 활용 및 전력 이용

- (연료전지 발전) 탄소포집 시설과 함께 친환경 발전소로 조성하고 스마트 팜에 에너지 및 CO_2 공급
- 강릉시 신재생에너지를 활용한 수소 충전소 구축을 기반으로 삼척시 LNG 생산기지 연계 추출방식으로 수소 공급 모델 추진
- 수소자동차 쉐어링 전략으로 강원도내 관광지와 KTX 연계 방안을 추진
- 강원도내 스마트 팜 등의 수소 커뮤니티, 어촌지역 선박 활용, 강원도 내 관광지 친환경 수소 리조트 구축 등의 전략적 완성도가 높은 계획으로 추진되고 있음
- 울산시와 더불어 비교적 높은 완성도의 계획을 추진하고 있음
- 전체적으로 구체성이 보완되어야 하나, FCEV 시험 센터, 수소 충전소 등은 구체적 전략이 있음

그림 4.7. 강원도 수소 도시 구축 계획

○ 경기도

- 산업단지 에너지 전환형 수소산업 모델 (BC유동 화석연료대체), 철도 수소전환 시범사업 모델 (철도차량기지), 자율주행/스마트시티 등 기존 도시시범사업에 수소사업융합 예정
- (부지 확보) CNG 기지, 고영 차고지, 철도차고지, 실업단지 하수처리장 등이 대상
- (수소 수급) 충전소내 On-Site형 수소 공급 방식과 3,000 Nm^3/hr 규모의 건설을 지자체 1개소와 검토중임
- (인프라 기 구축) : 현재 예정 중이며, 아직 없음
- (협의중인 기업) 도시가스 공급 업체와 논의 중
- (예상 사업비) 각 지자체 별 사업 계획에 경기도가 참여하여 지원하는 구조
・상반기에 지자체 계획 수립 협의체 구성 예정
- (주민 수용성) 도와 지자체 협업 홍보사업 추진
- (법/제도화) 도시가스 낙후지역에 수소를 이용한 에너지 자립 지원 계획
- (기타) 정부의 수소 공급 및 유통계획 수립이 우선되어야 함

○ 평택시

- LNG기지와 연계한 대량수소 생산 계획 (파이프 라인 이용 배후지 수소타운 시범조성과 평택항 선박, 지게차, 트럭 수소전환)
・바이오가스 활용 수소타운 조성 (에코센터)
- (부지 확보) LNG기지 인접 3.5만평 산업용지 보유, 고덕 신도시 에코센터 보유 (약 3만명)
- (수소 수급) LNG 개질수소를 통한 대량 생산
- (인프라 기 구축) LNG 생산기지, 고덕 에코센터, 수소충전소 `19년 완공, 황해경제자유구역 포승지구 `20년 완공
- (협의중인 기업) 한국가스공사, 한국가스기술공사, 서부발전, 린데, 에어리퀴드
- (예상 사업비) 3.5 만평, 60 만평의 부지 제공
- (주민 수용성) 수소마을 만들기 공모사업 (리빙랩), 수소에너지 홍보관 건립 등
- (법 및 제도화) 액화수소 관련 안전 규정 마련 등

○ 화성시

- 관광지모델로 특화 예정: 수소에너지로 움직이는 국제테마파크 등 탄소없는 관광단지 구축 운영
  · 화성시에 예정인 신세계 국제 테마파크 및 주변 주택단지 조성에 수소에너지 활용 -> 어트랙션 운영 (수소롤러코스터, 수소대관람차, 수소굴절버스 등)
  · 주민수용성 모델 : 주민수용성이 가장 높은 100%에 가까운 단지 (화성시 남양 시청권역, 현대자동차 사원아파트 1.2단지 대상
  · 화성시청 청사 내 수소충전소 설치 예정 (19년 내)
- (부지 확보) 청사 내 수소충전소 부지 확보 완료
  · 화성 송산그린시티 남쪽 산업단지 내 자율차, 수소차 등 미래차 실증단지 구상 중 (부지소유 - k-water 협조 중)
- (수소 수급) 가스공사 중간 공급처에 수소추출 시설 설치
  · 시화지구, 화옹지구 내 태양광 발전, 시화조력 발전소를 활용한 수전해 Co_2 수소생산 계획
- (인프라 기 구축) 수소연료전지 발전소 2개소, 70MW 확보 및 40MW `20년 준공 예정
  · 수소충전소 2개소, (`19년 2개소 추진 중, 22년까지 누적 10개소 목표)
- (협의중인 기업) 미정
- (예상 사업비) 충전소 60억, 수소공영버스 150억, 수소승용차 262억 등
- (주민 수용성) 미정
- (법 및 제도화) 미정

○ 광주광역시

- 수소중심 친환경차 선도도시로 조성 계획하고 있으며, 수소차 부품산업 육성 계획
- (부지 확보) 도심권내 진곡산단, 외곽지역 빛그린 산단
- (수소 수급) 광양만권 부생수소 공급 계획
- (인프라 기 구축) : 그린카 진흥원 설립, 연구센터 구축
- (협의중인 기업) 별도로 없으며, 그린카 진흥원과만 협의중
- (예상 사업비) 미정
- (주민 수용성) 대중교통을 중심으로 수소차량 공급

- (법/제도화) 관련 조례 제정
- (사업 기간) `17년 - `31년
- 수소 자동차 (`22년 기준, 10,000 대) 및 수소 충전소 (20기) 모델로 집중
- 수소 자동차 보다는 수소 충전소 구축에 집중 (LPG/CNG 융합 개질)
- 충전소 기술 국산화 등 기술개발에 집중 투자
- 수소차 쉐어링 전략 구축 (산단, 대학, 공항/터미널 등)

그림 4.8. 광주광역시 수소 도시 구축 계획

○ 전라남도-녹색에너지 연구원

- 지자체와 공동 협력체계 구축하되 교통모델 우선 진행
- (부지 확보)
  · 1안) 여수 신산단 부지 인접지역에 수소도시를 조성 : 율촌 산단 또는 삼동 산단지구를 수소 산단으로 조성 계획 중
  · 2안) 주거, 상업, 관광지구 (돌섬)에 공급주택, 호텔 그리고 교통에 적용 : 주변 부생수소, 제철소(광양)에서 수소공급, 수소발전소를 통한 단지 내 전력 공급
- (수소 수급) 전남은 여수, 광양의 석유화학단지, 제철소에서 생성된 부생수소를 활용가능하고 서남해안 대단위 해상풍력 조성, 간척지를 이용 태양광발전 조성하여 신재생 에너지 연계 수소를 생산하고 수소도시 및 활용처에 공급 계획
- (인프라 기 구축) : 전남 여수 내에 수소파이프라인 구축, 신규 광양 제철소와 여수 산단 간 파이프라인 구축 협의 중
  · 여수 석유화학단지 광양제철소 부생수소 생산, 지역 내 수소 생산 및 판매 업체 다수 존재

- (협의중인 기업) 서유화학산업 기업체 다수 참여 가능 (LG, 포스코에너지, SPG, 에어리키드, 태양 등)
- (예상 사업비) 미정
- (주민 수용성) 공공주택, 대중교통, 국가산단 위주의 계획 수립을 통해 해결
- (법/제도화) 미정
- (기타) 정부 예산에 대한 정보공개와 선정된 지자체 운영비용 지원확보가 필요함. 특히 주민 수용을 위한 지원을 당부

○ 여수시

- 교통모델안으로 추진예정 중임. 주거모델안은 교통모델을 통해 수소 안전성확보 및 홍보 이후에 점진적으로 접근
- (부지 확보) 미정 혹은 해당사항 없음
- (수소 수급) 부생수소 공급 체계 구축 및 부생수소 생산량 설비 증가 예정
- (인프라 기 구축) : 부생수소 생산업체에 따른 인프라
- (협의중인 기업) 국가 산단내 부생수소 생산 기업체 및 수소도시 조성시 참여기관 협의 예정
- (예상 사업비) 미정
- (주민 수용성) 교통모델 및 물류모델 등을 우선 조성 후 안전성 확보이후 주거모델로 점진적 발전 계획
- (법 및 제도화) 법/제도 제정 계획

○ 완주군

- 상용차 중심 수소산업 육성 전략과 5,000가구 범위의 신도시 기반 수소도시 구축계획 (도시가스 배관망 및 연료전지 보급)
- (부지 확보) 산단 인접 지역 주거단지 계획 중
- (수소 수급) 산업단지 내 부생수소 활용계획
- (인프라 기 구축) : 도시가스 개질 수소 3톤/일 규모 생산 설비 인프라
- (협의중인 기업) 우석대 수소연료전지 지역혁신센터, 전북 TP, 현대자동차, 한솔케미칼 등
- (예상 사업비) 국가 예산 확정 후 지자체 매칭 사업비 투자 계획

- (주민 수용성) 수소 안전성 홍보, 읍면별 이장 협의회 홍보, 지역주민 대상 공청회 개최 계획
- (법 및 제도화) 미정

○ 전주시 - 전북대 공통

- 수소 트램 (한옥마을 관광차 연계), 시내 버스, 관용차 등의 교통 모델
- 새만금 신재생 에너지 단지 연계 태양광 활용 CO2 프리 수소생산 및 파이프라인을 통한 공급수단 고려
- (부지 확보) 6개의 충전소 부지
- (수소 수급) 봉동 한솔케미컬 1일 생산(6t) 파이프 라인과 튜브 방법 고려중
  · 부생수소가 생산되지 않는 지역 중 최적 지역에 mother station 구축
- (인프라 기 구축) :미정
- (협의중인 기업) 한솔케미칼 등
  · 충전소 : `19년 1개소, 수소자동차 : `20년 200대, 수소버스 : `20년 16대
- (주민 수용성) 주민설명회 예정
  · 수소에너지에 대한 위험성 교육자료 공유
  · 수소에너지 활용시 인센티브 제도
- (법 및 제도화) 미정

○ 대전시

- 수소연료전지 기반 행복주택 실증도시 구축 계획
- 바이오가스를 이용한 수소생산 → 공급 → 생활(음식물)폐기물의 수소생산으로 재환류 모델
  · 옥상 스마트팜과 접목을 통해서 탄소의 재이용
  · 대전시 분산전원 비율 상승을 위해서 수소연료전지가 반드시필요(대도시의 경우 태양광, 풍력발전이 사실상 제한)
- (부지 확보) 유성구 구암동 복합환승센터 인근, 수소전주기 안전센터 인근 (과학비즈니스 벨트 등)
- (수소 수급) 매립장(금오동)의 바이오가스를 개질 후 파이프라인을 통해서 실증단지(구암)로 이송

· 부족분의 경우 도시가스의 개질 또는 신재생단지로부터 수전해 → 액화 →공급 체계 구상 (향후 대량의 수소가 필요시 대비, 액화수소 이송도 실증)

– (인프라 기 구축) : 충전소 구축중 2개소, 올해 계획 3개소

· 수소 전주기제품 안전성지원센터 구축중, 수소연료전지발전소(11Mw) 구축 중, 평촌산업단지에 연료전지 150Mw 구추계획 (남부발전)

– (협의중인 기업) 가스기술공사, 충남도시가스, 액화수소연료업체, 대전테크노파크

– (예상 사업비) 향후 기본설계 후 확정

– (주민 수용성) 수소 공급지와 실증단지의 이격거리 확보

– (법 및 제도화) 수소산업육성을 위한 조례제정 계획

– 수소 자동차 및 연료전지 발전계획 중심이나 실질적으로 수소의 수급 계획에 대한 구체성이 부족함

– `22년 수소차 1,000 대 보급을 목표 : 수소 충전소 10기 구축

– 연료전지 발전 61 MW `21년 준공 (산업단지, 서남부발전소, 과학벨트 둔곡지구)

· 국내 지자체별 연료발전에 대한 계획이 가장 구체적으로 추진되고 있는 것으로 조사

– 시민보급형 연료전지, 수소드론, 에너지 시범단지: R&D 발주를 통해 수주시 실행

그림 4.9. 대전시 수소 도시 구축 계획

○ 충청남도

– 산업단지 연계형 수소시범도시 조성계획

– 산업부 수소생산기지 구축 사업 참여

- (부지 확보) 최종 정부 정책 구체화 이후 검토
- (수소 수급) 대산석유화학단지의 수소 생산, 유통 단지가 기 구축되어 튜브트레일러 방식으로 수소충전소 사업장에 공급
  · 정부의 수소생산기지 구축사업 공모과제 (에기평 과제)에 선정되기 위하여 기본계획 수립단계에 있음
  · 공모과제 주요내용 : 삼중발전 (수소+열+전기) 연료전지 기술개발 및 실증 도시가스 감압 (6.5mpu → 0.8t mpu)에 따른 감압 발전 (연료전지 열원 사용)
- (인프라 기 구축)
  · 서산 : 대산석유화학단지 수소버스 시범지역 선정 (19년 하반기 충전소 구축 예정)
  · 부생수소 연료를 활용한 연료전지 발전소 구축 진행 중 (50mw 급)
  · 아산 : 수소버스 시범지역 선정 (19년 하반기 충전소 구축 예정)
  · 당진 : 수소생산기지 구축사업 유치 대응 중 (사업기간 : 19-23년)
  · 충남 유일의 지역난방 공급 인프라 구축, 남동발전 연료전지 발전 (60mw급) 구축 예정, 내포 수소충전소 (15 구축)
- (협의중인 기업)
  · 내포 신도시 (홍성) : 내포그린에너지 (지역난방 사업자), 남동발전 (연료전지 발전)
  · 당진 (부곡정압관리소) : 두산퓨얼셀 (삼중발전 연료전지 개발 업체), 한국가스공사 (감압발전 + 연료전지) 복합발전 기술개발), 동서발전 (mw급 지능형 마이크로그리드 통합 EMS 개발) 한화 테크윈 (감압발전기 개발업체)
  · 논산 (바이오가스활용): 논산 계룡축협 (축산분뇨를 바이오가스로 전환), 에이치앤파워 (바이오가스 → 수소 전환 개질기 개발), 표준과학연구소 (수소 연료 품질 모니터링)
- (예상 사업비) 30억 규모의 수소충전소 구축 시 지원 계획 (국비산업 도비 10.5억원 지자체 4.5억원), 수소전기차 지원 계획 (국비 22.5백만원 소비 10.0백만원, 지역주민 수용성 해결을 위한 홍보관 건립
- (주민 수용성) 홍보관 건립 계획
- (법 및 제도화) 연료전지 분산발전 수축 의무화, 수소충전소 구축 의무화 관련 내용의 조례 제정
- 내포신도시 중심으로 발전용 연료전지 기반 사업 추진
- 내포 신도시 인구 100,000명 대상으로 분산형 연료전지 사업 계획
- FCEV 부품시험평가센터 구축 (내포 수소 충전소 기 구축)

- 총 4개 분야 (생산, 저장유통, 수소 이용, 정책)에 대해 세부 추진 의지는 있으나, 예산 등 구체성이 부족하고 별도의 요구되는 수소 수급 방안에 대한 전략이 부족함
- 전체적으로 구체성이 보완되어야 하나, FCEV 시험 센터, 수소 충전소 등은 구체적 전략이 있음

그림 4.10. 충청남도 수소 도시 구축 계획

○ 아산시

- 지역 특성화 전략을 위해서 수소경제 관련 로드맵 용역 발주 계획
- (부지 확보) 미정
- (수소 수급) `19, `21년 수소 충전소 준용 예정
- (인프라 기 구축) : 현재 예정 중이며, 아직 없음 (`19, 수소차 76대, 수소버스 4대 계획)
- (협의중인 기업) 중부 도시가스, 메타비스타 등
- (예상 사업비) 미정으로 용역 중
- (주민 수용성) 지속적인 수소 안전성 주민 설명 및 홍보 계획
- (법/제도화) 관련 조례 준비 중

○ 충주시

- 충주댐 수력전기를 활용한 수전해 수소를 생산하여 교통, 산업에 청정 수소 공급 (목표 : 수소kg당 9천원 수준을 R&D를 통해 7천원 수준으로 저감)

· 수력전기 발생지 인근 도시+산업시설 수소 최적 공급망 구축

- (부지 확보) 서충주 신도시(충주기업도시) 내 3개 필지 사유지, 중부내륙고속도로 서충주 JC인근 산업단지 내 사유지 예정
- (수소 수급) 지역내 생산 (LNG 정압소 활용 개질 수소 및 수력전기를 활용한 수전해 수소 생산 계획)
- (인프라 기 구축) 수소전기자동차 one-stop지원센터 구축, 수소전기차 부품 클러스터 조성 중 (18. 6 ~)
- (협의중인 기업) 한국교통대학교, 현대 모비스, 충북테크노파프, 한프, SK D&D
- (예상 사업비) 주지 제공 위주로 계획
- (주민 수용성) 공무원, 시민대상 교육 진행 중, 지속적인 언론 홍보 중
- (법/제도화) 미정

○ 통영시

- 현재 용역 발주에 따른 계획 중
- (부지 확보) 미정
- (수소 수급) 통영 LNG 기지를 활용한 수소 생산 계획
- (인프라 기 구축) 미정
- (협의중인 기업) 대우건설과 협의 중
- (예상 사업비) 미정, 향후 사업 확정시 계획 수립
- (주민 수용성) 미정
- (법/제도화) 미정

○ 울산시

- 수소배관 (기구축) 연계 경제성 있는 수소 충전소 모델과 기존 수소타운을 확장할 ICT기반 수소시티 모델, P2G 수소 생산 및 마이크로 그리드 모델 등 복합 수소타운으로 발전 계획
- (부지 확보) 구축된 수소충전소 (버스 공영 차고지 포함), 신규 복합 환승센터, 온산읍 일대의 수소타운(시티), 울산테크노일반산업단지 내 실증 인프라·부지 기확보
- (수소 수급) 부생수소/개질수소(울산 석유화학단지) → 배관, 튜브 공급 업체

· P2G수소: 울산 TP 수소연료전지 실증화 센터, LH P2G 시설 구축 진행 중 : 수소충전소 공급

- (인프라 기 구축) 수소 배관 약 120km, 수소 튜브트레일러 약 400대, 수소연료전지 실증화 센터(연료전지 1.5Mw, P2G시설, 수소배관), 수소타운 등
- (협의중인 기업) 두산, 부흥산업사, 태광후지킨, 원일티앤아이, 이엠솔루션외 50여개 기업
- (예상 사업비) 수소배관 구축(울산시내 주요 수소충전소- 배관연결)비용, 태화강역 복합환승센터 건립(2020년 말)하여 약 1,000대/일 규모 수소충전소 구축 추진비용
- (주민 수용성) 주민공청회, 수요조사 등을 통한 주민 친화적 사업모델 구축
- (법/제도화) 지역 수소생산기업이 연계된 수소 수급, 가격 안정화 체계 구축

· 수소공급을 위한 인프라(배관, 고압 튜브트레일러) 구축관련 조례 재정 계획

- 대상지역 : 울산시 울주군 덕신지구 기존 수소배관 인근 공동주택, 상업용 건물, 공공기관 및 학교, 산업체
- 사업기간 : 2019. 03 ~ 2024. 12(5년 9개월)

· 인프라 구축 : 2019. 03 ~ 2019. 12(9개월)
· 운영 : 2020. 01 ~ 2024. 12(5년)

- 사업비 : 총 161.31억(국비 75.55억, 시비 59.75억, 민자 26.01억)
- 주관기관(참여기관) : 울산광역시(울산테크노파크, SPG산업, 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀 등)
- (사업내용) 공동주택, 공공시설, 상업시설에 5kW, 25kW~100kW급 **수소기반 중앙집중식 연료전지시스템 구축 및 운영(총 470kW)**

· 공동주택(총180kW) : LS니꼬동제련사택(72세대, 25kW[1] x 2기),
무림제지사택(252세대, 50kW[1] x 2기),
고려아연사택(830세대, 100kW[1] x 3기)
· 친환경 전지융합 실증화단지 구축사업(2014.12~2019.11)을 통해 개발된 25kW ~ 100kW급 국산 연료전지 보급
· 중앙집중식 연료전지 구축하여 세대별 전기 공급 및 사택내 샤워장 및 목욕탕, 기숙사 등에 열공급을 통한 에너지 효율 극대화
· 공공시설(총20kW) : 온산초등학교(5kW x 2기), 온산읍사무소(5kW x 2기)[2]
· 상업용 건물(총10kW) : 우리사우나(5kW x 2기)
· 수소배관(인접배관 연결, 약 1km), 전력 및 공급 인프라 구축

· 온산초 및 무림사택 (600m), 고려아연 사택 (200m), 우리사우나(200m)
· IoT 기반 스마트 통합운영시스템 구축 및 운영

그림 4.11. 울산시 수소 도시 구축 계획

○ 세종시 모델

– (사업 기간) `17년 – `30년

– 수소 자동차 (`30년 기준, 30,000 대) 및 수소 충전소 (24기) 모델로 집중

– 광주시와 유사한 모델로 수소 자동차에 집중

– 수소 택시 (울산), 수소카쉐어링 (광주), 수소 BRT & 버스로 차별화

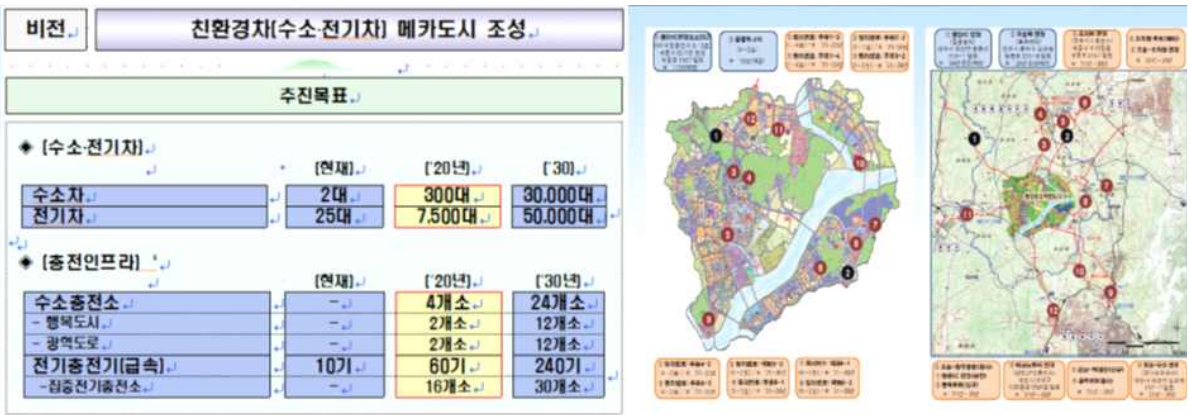


그림 4.12. 세종시 수소 도시 구축 계획

○ 창원시

– (사업 기간) `18년 – `20년

- 수소 자동차 (`20년 기준, 311 대) 및 수소 충전소 (7기) 모델, 현실적인 타겟(대수)으로 설정, 관용차 위주에서 민간차량으로 확대 계획
- 수소에너지 순환시스템 실증단지 구축 계획
- 창원 첨단 특화산업 단지 조성 : 연료전지, ESS, 친환경차 부품
- 아직 구체적으로 확정된 내용이 아니라 예산 투입비용, 수소 수급 등에 대한 내용이 비교적 모호하게 발표되었음

· 발표 당시 상세 내역이 있었으나, 현재 사업비 확보등이 되지 못한 것으로 조사됨

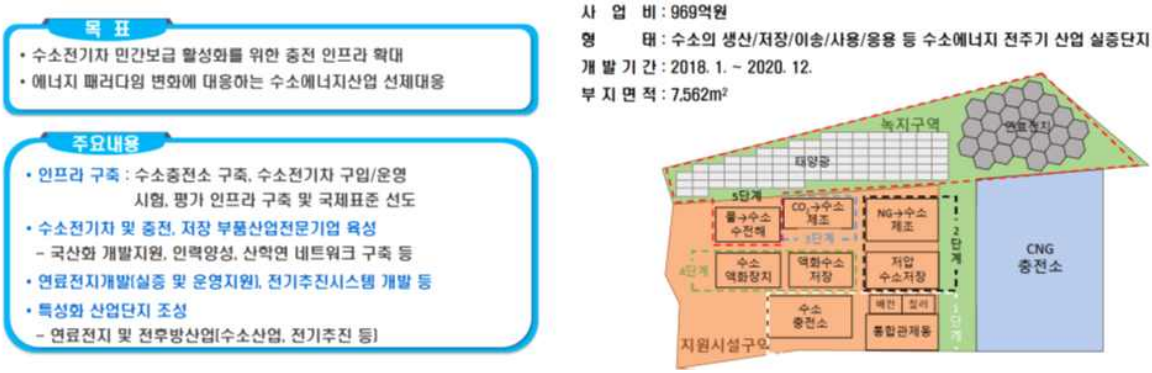


그림 4.13. 창원시 수소 도시 구축 계획

□ 지자체 특화 모델 내용 요약 및 시사점

요 약

○ 현재 지자체 19개에서 관심을 가지고 있으며, 대부분이 수소자동차 중심의 계획으로, 일부 지자체에서 지역 특성을 고려한 계획 제시

○ (관심지자체) 경기도, 평택, 화성, 충청남도, 대전, 아산, 충주, 강원도, 삼척, 광주광역시, 전라남도, 여수, 완주군, 전주, 세종, 창원, 울산, 통영, 제주도 등

○ 수소 자동차관련 사업 계획

- (대전광역시) `22년 수소차 1,000대 보급과 수소 충전소 10기 구축
- (광주광역시) `22년 수소차 10,000대 보급과 수소 충전소 20기 구축
  * 충전소 기술 국산화 기술 개발 및 LPG/CNG 융합개질 방향으로 충전소 구축
- (세종특별시) `30년 수소차 30,000대 보급과 수소 충전소 24기 구축
  * 수소 BRT & 버스로 타 지자체와 차별화 계획

- (창원시) `20년 수소차 311대 보급과 수소 충전소 7기 구축
- (울산시) `22년 수소차 10,000대 보급과 수소 충전소 20기 구축
  * 배관망 기준 30 km 구축을 통한 도심형 수소 충전소 보급 계획

○ 연료전지 발전 계획

- (충청남도) 내포신도시 인구 100,000명 기준 연료전지 발전 계획
- (화성시) 연료전지 발전 2개소 건축 계획 (110 MW (70 + 40 MW))
- (대전광역시) 연료전지 발전 61 MW
  * 산업단지 30 MW, 서남부 발전소 11.4 MW, 과학벨트 20 MW
- (강원도) `21년 기준 연료전지 발전 100 MW
- (울산시) 수소배관 120 km 구축을 통한 연료전지 발전 1.5 MW 구축 추진

○ 관광단지 구축 계획

- (강원도) 친환경 리조트 구축
  * 연료전지 발전에서 발생하는 에너지 이용한 냉난방 활용 및 전력 이용
- (화성시) 국제 테마파크 구축 (신세계와 협력)
  * 수소롤러코스트, 수소 관람차, 수소 굴절버스 등의 운영 계획 수립
- (여수시) 돌섬 관광단지내 호텔과 교통내 수소 공급 계획
  * 수소롤러코스트, 수소 관람차, 수소 굴절버스 등의 운영 계획 수립

○ 파이프라인 구축 계획

- (여수시) 여수산단내 수소 파이프 라인 구축과 부생 수소 공급을 위한 광양제철소까지 파이프 라인 확대 계획
- (전주시) 봉동 한솔케미컬의 부생 수소와 수소충전소까지 파이프라인 연계 계획
- (울산시) 수소 배관 약 120 km 구축을 통한 발전, 수소충전소 보급망 구축 계획
- (평택시) LNG 인수기지 내 수소 생산단지 구축과 파이프라인을 에코센터까지 연계
  * 지게차, 수소트럭 등 수소 충전 인프라내 공급 계획

○ 수소 생산기지

- (평택시) LNG 인수기지 인접 3.5만평내 추출수소 공급을 위한 생산기지 추진
- (통영시) LNG 인수기지내 추출수소 공급을 위한 생산 기지 추진
  * 전체 목표만 수립하고 세부 계획은 용역 중에 있음

○ 수소 타운 계획

- (울산시) 파이프라인 구축을 통한 온산읍 일대 수소 타운 구축 계획
 * 연료전지 보급을 통한 복합환승센터 구축과 가정용 연료전지 보급 계획
- (완주군) 5000 가구 신도시를 대상으로 수소 도시 시범사업 계획
 * 도시가스 배관 활용방안 및 연료전지 보급 계획 구축
- (충청남도) 내포신도시내 중앙집중형 지역 연료전지 열병합 발전소 구축
 * 당진 등의 화력발전소 대체를 목적으로 추진
- (화성시) 현대차 사옥 등내 연료전지 보급을 통한 수소 단지화 계획
 * 주민 수용성 재고를 위해

○ 모든 지자체에서는 국비 지원에 대한 요청이 있음

- 지자체별 사업 규모는 다르지만, 최대 1,167억원, 최소 75.55억원까지 다양한 요구가 있음
- 실제 용역을 통한 계획 수립이 완료된 지역에서 구체적으로 요구되고 있음
- 인프라가 기 구축된 지역 (울산 등)의 금액은 비교적 소규모이며, 인프라가 없는 지역은 대규모로 파악됨. 따라서 대부분의 지자체는 인프라 구축비용에 대한 국비 비원을 요청
- 몇몇 지자체의 경우 수소도시 구축이후 지속성 확보를 위한 운영비 지원까지 요청하고 있는 것으로 조사됨

○ 지자체 계획의 대부분의 초점은 수소 교통 구축으로 귀결

- 각 지자체는 `30년 기준으로 수소자동차 보급 대수에 초점이 맞추어지며, 이에 따른 수소 충전소 보급대수를 계획함
- 실절적인 보급 가능 대수에 관계없이 계획하는 위험성이 있을 수 있는 것으로 판단됨
 · `22년 대전 1,000대, `22년 광주광역시 10,000대, 전주시, `20년 200대, 세종시, `20년 300대, `30년 30,000대, 창원시 `20년 311대, 울산시 `22년 10,000대 등 현재 발표된 계획으로 `20년 811대, `22년 21,000 대 등 실현가능성에 대해 구체적으로 고민이 필요
 · 21,000 대는 주민 구입이 없을 경우 관용차량만으로는 보급이 어려울 수 있으며, 아직 인프라 구축 등에 대한 구체화가 없이 주민이 수소 차량 구입에 대한 기대감을 갖기에는 부족한 감이 있음

○ 수소 충전소 보급에 대한 고민

- 수소 경제 활성화 로드맵에 따른 수소 충전소는 `22년 기준으로 310개소 보급이며, 이는 환경부 150개소, 국토부 160개소로 도심지내 150개소 구축예정 상황
- 대도시 기준으로 10개소 내외 구축가능한 수로 충전인프라의 부족사태가 우려되며, 이에 대한 예산만 2,250억 수준의 예산 지원이 필요함

- 수소 경제 활성화 로드맵에 따른 수소 충전소는 `22년 기준으로 310개소 보급이며, 이는 환경부 150개소, 국토부 160개소로 도심지내 150개소 구축예정 상황
- 대도시 기준으로 10개 내외 구축이 가능한 수치로 수소교통 계획에 따라 8만대를 커버하기에는 인프라가 부족할 가능성이 있음

○ 수소 수급에 대한 고민

- 모든 지자체에서 수소 수급에 대한 고민이 없어, 계획에 따른 실질적으로 소요되는 수소 필요량과 수급 방식에 대한 철저한 전략이 필요함
- 수소 수급이 해결 혹은 가능성 있는 지자체
  · (부생수소) 울산, 여수, 전주(완도군),
  · (LNG 추출 수소) 평택, 통영, 강원도 삼척
- 타 지자체는 막연하게 천연가스 개질을 통해서 수소 충전소 보급 전략외에는 발전 혹은 타 전략에 대해 수소 수급 방안에 대한 계획을 수립하지 않았음
- 특히 수소사외 도래를 위한 전략적 배경을 볼 경우 SMR에 의한 수소 수급은 반드시 CCS 기술을 동반해야 의미가 있으며, 이를 고려할 경우 대량의 수소 수급이 필요한 사례에 대한 진지한 고민이 필요함

3. 주민 수용성 방안 및 리빙랩 모델

□ 리빙랩의 정의

○ 리빙랩은 '일상생활 실험실'이라는 뜻으로, 특정구역내의 주민 생활 공간을 실험실로 설정하고 연구자와 주민간의 상호 협력을 통해 문제를 해결하고자 하는 방법론으로 실제로는 실 사용자의 의견을 반영하여 연구개발을 진행하는 의미가 있음

- 연구성과물에 대한 사용자 의견 반영을 통해 연구성과를 일상생활 혹은 시장까지 연계가 가능하도록 유도하도록 할 수 있는 방법론으로 해석될 수 있음

- Top-down 방식의 연구성과물 도출이 아닌, Bottom-up 방식의 연구성과 도출의 방법론으로 분류될 수 있음

○ 리빙랩 방법론은 총 3-5단계로 구분되는 것으로 요약

- Katzy(2012), SEE, Helsinki 리빙랩, Corallo, et al.(2013) 등은 혁신활동을 3단계로, iLab.o과 RIM은 4단계, FormIT와 C@R은 5단계로 구분 (성&정, 리빙랩 방법론: 현황과 과제, STEPI insight, Vol.208, `17)
- (절차) 사전기획, 사용자 선발, 참여자 동기유발, 리빙랩 공동체 형성, 리빙랩 공동체 관리, 제품/서비스 실용화 등으로 구분되어 진행이 됨

□ 지방자치 단체의 주민 수용성 해결방안

○ 다양한 지자체에서 제시된 주민 수용성 해결방안

- (공통적) 대다수 지자체 추진 전략상의 주민 수용성 해결방안으로는 홍보사업과 지속적인 교육으로 귀결
  · 추가사항으로 실현가능한 전략으로 이해관계 기관 위주의 수소 사회 구축 이후 지속적인 확대 전략이 있음
  · 현대자동차 사옥, 연료전지 기업 사옥, 시청 청사내 수소 주유소 및 공공기관 출퇴근용 버스 등을 우선 적용
  · 울산시처럼 사전에 기 진행된 수소타운 결과에 따라 진행방식 등이 있음
- 홍보에 대한 국가의 교육, 주민에 대한 보조금 등을 요청

○ 주민 설명회외에는 마땅한 방법론이 사실상 없는 상황으로 그간 국책 사업이 대부분 TOP-DOWN 방식으로 이루어짐에 따른 대응 매뉴얼이 없기 때문으로 분석됨

□ 리빙랩 사례

○ 핀란드 (성지은외, 리빙랩의 운영 체계와 사례, STEPI insight, Vol. 127, `13)

- (목표) 낙후된 핀란드 북부 경제 활성화를 목적으로 추진
- (NorthRULL) 울루(Oulu), 로바니에미(Rovaniemi)를 중심으로 핀란드 북부 지역의 9개 리빙랩
- (경과) 지역 대학, 기업, 지방자치단체가 참여를 통한 지역 공동체 문제해결에 초점을 맞추기 위해 생활환경 및 복지에 초점을 둔 다방면적 탐색 시도

· 주제: 핀란드 자연환경 활용을 위한 여행·관광, 사회 구조 및 주민에 대한 (건강,웰니스, 건축 등) 연구로 ICT를 통한 상호간의 의견 수렴을 위해 네트워크 구축

- (사용자 참여 1) Energizing Winter City (EWC)
· (도시생태계 개선을 위한 Energizing Urban Ecosystems(EUE)연구프로젝트): 도시 생태계의 지속성 강화를 위한 에너지 효율화 수단, 기술혁신, 장기적 개발에 2만 명 이상의 Hiukkavaara 시민 참여
· 주택, 건축 환경에 초점

- (사용자 참여 2) Energizing Winter City (EWC)
· 울루 시 내부의 모바일 멀티미디어 서비스 확충을 목적으로 시행된 필드테스트에 울루 시 주민과 함께 관광객, 방문객을 포함하여 다양한 맥락의 경험과 테스트 결과 도출 이후 서비스·플랫폼 개선에 활용

○ 벨기에 (성지은외, 리빙랩의 운영 체계와 사례, STEPI insight, Vol. 127, `13)

- (목표) 인테리전트 가정환경 구축을 위해서 플랑드르 지방에 인프라, 테스트 패널을 구축하여 실 사용자를 적극적으로 차여하도록 유도
· ICT를 기반의 지역생활 수준과 지속가능성 향상
· 스마트 그리드, 스마트 미디어, 스마트시티를 핵심 목표로 함

- ICT 기술의 특성상 플랑드르 지방 전체를 테스트 패널로 구축
· (초기) 겐트(Gent), 메헬렌(Mechelen), 신트-니클라스(Sint-Niklaas)시에 거주하는 250가구(600명)를 리빙랩 수준의 테스트 패널에 참여
· (말기) 혁신활동 단계의 발달에 따라 시험 지역과 대상이 점점 확대되어 실제 적용 단계에는 플랑드르 지방 전체, 100만 명 이상 규모로 테스트 패널 확대

- (경과) OKeez 프로젝트 (스마트미디어 구축, 게임 컨트롤러를 홈 엔터테인먼트까지 발전), InCityS 프로젝트 (집안에서 공동체 활동, 상호작용에 접근할 수 있는 기술 개발) 등의 성공 사례

□ 분석 및 벤치마킹

○ ICT 기술을 기반으로 리빙랩을 구축하여 상호간 의견을 수렴하는 것을 골자로 진행되고 있음

- 연구개발 시작단계에서 의견 수렴을 통한 연구개발 방향성 도출이 시작됨

- 연구개발 시작단계에서 최종 사용자의 니즈를 활용함으로써 최종 성과물에 대한 완성도 향상

○ 리빙랩 구성을 위한 주제로 부터, 실생활에서 주민이 필요로 하는 부분을 적극적으로 개선하기 위한 명확한 주제가 존재

- (벨기에) 스마트 시티, 스마트 미디어 등 현 선진국에서 추진하는 선진 도시로의 발돋움을 위해서 반드시 필요한 ICT 기반의 기술 트랜드
- (핀란드) 낙후된 도시 개발을 위한 지역 재원 마련 사업으로 해당 지역 주민의 관심사가 있을 수 밖에 없는 사업
- (브라질) 빅토리아시의 언덕지대의 저소득층 대상 주거불안 문제 해결을 주제로 재생에너지를 통한 생활수준 향상을 목표로 삼기 때문에 주민의 환영을 받는 주제
- (남아공) Mbashe 지역의 통신, 도록, 교육 등의 인프라 등에 대한 ICT 기술 접목을 통한 생활 수준 향상과 생활서비스 제공을 목표로 하기 때문에 최종 사용자의 환영을 받는 주제임

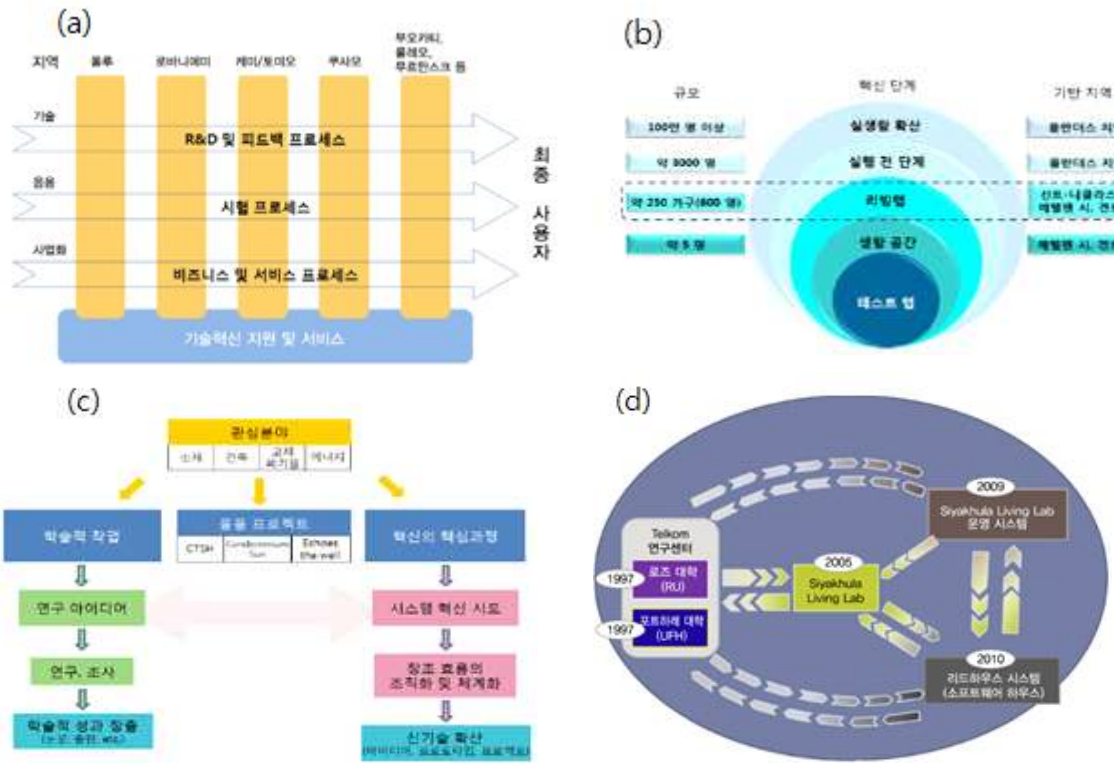


그림 4.15. 리빙랩 사례 (a: 핀란드, b: 벨기에, c: 브라질, d: 남아공)
(성지은외, 리빙랩의 운영 체계와 사례, STEPI insight, Vol. 127, `13)

○ 사례로 제시되고 있는 대부분의 주제가 시민 혹은 사용자가 원하는 주제로 구성되어 있으며, 실질적인 TOP-DOWN 방식의 주제를 찾기는 어려움

- 방폐장, 소각장 등의 혐오시설 등 국가 차원에서 반드시 필요로하는 분야 등이 아닌 민간이 필요로하는 분야에서만 리빙랩이 구성됨
- 즉, 낙후 지역개발 등 직접적으로 주민에게 혜택이 돌아갈 수 있는 주제로 구성되는 리빙랩들만 사례로 제시되고 있음

○ 독일에서 진행된 신재생에너지 활용을 위한 리빙랩 모델은 Bottom-up방식으로 시작된 것임

- 이를 위해 시민과 전문가 등이 함께 지속적인 포럼, 워크숍, 토론회 등을 통한 의사소통 창구를 마련
- 이를 통한 아이디어 도출 등의 적극적인 시민 참여를 유도 (약 22,000 명의 시민이 참여)
- 그러나 독일 보트롭 프로젝트는 처음부터 시민의 호응도가 높았던 프로젝트로 녹색도시라는 삶의 질 향상을 최종목표로 강조한 것으로 관심이 높았던 프로젝트로 앞선 프로젝트와 마찬가지의 상황임

○ 이러한 사례로부터 시민 참여 유도를 위해서는 시민이 원하는 방향을 찾아서 접근을 해야 함

- 현 수소 에너지라는 주제는 에너지 패러다임을 변화해야 하는 주제로 인식되며, 국가 차원의 과제이므로 일반 시민에게는 무거운 주제일 수 있음
- 따라서, 온실가스 저감, 특히 미세먼지 저감을 위한 리빙랩이라는 친환경적인 주제로 접근을 해야 할 것으로 판단됨
- 최종 사용자로서 시민에게 주어지는 직접적인 혜택을 강조해야 함. 예를 들면 지역 재생사업 등과 함께 구성할 경우 리빙랩 구성 등이 비교적 원활할 가능성이 높음

○ 초기 단계부터 시민 참여를 유도해야 함

- 국가 차원의 로드맵과 지역 주민이 바라는 방향과의 일치를 위해 초기 프로젝트 성립 단계에서 지역 주민 유입을 통해 공동체 구성
- 산·학·연·관과 지역 주민과의 의사소통 구성을 위한 워크숍 등을 주기적으로 개최하고 기술개발 아이디어 등을 도출하는 방향을 구성

□ 수소 사회 구축을 위한 리빙랩 구성 전략

○ R&D 기술 개발 단계 사전기획, 사용자 선발, 참여자 동기유발, 리빙랩 공동체 형성, 리빙랩 공동체 관리, 제품/서비스 실용화 등의 리빙랩 구성 절차에 준하는 단계로 구분하여 진행

○ (사전 기획) R&D 기획 내용에 대한 오픈과 동시에 지역 주민과의 제품개발 등에 대한 아이디어 공모 및 공유 단계로 구성하도록 지자체 유도

○ (사용자 선발) 지자체 선발을 위한 단계에서 지역 주민과의 협의체 구성 단계를 평가함으로써 사용자 선발에 대한 타당성을 평가

- 지자체내 협력기관, 지역 주민간 논의된 아이디어 등 1차 도출된 아이디어의 우수성, 실현가능성을 위주로 리빙랩 구성의 완성도를 통해 사용자를 선발

○ (참여자 동기유발) 지자체와 지역주민의 적극적인 호응을 위한 전략을 도출

- 예산: 인프라 등이 충분하게 구축될 수 있을 예산을 정부와 지자체간 확보하고 지역사회 일자리 창출이 가능한 산업과의 연계가 가능한 범위의 예산 지원
- 인프라 구축: 기술 개발 등에 직접적으로 활용될 수 있는 인프라 구축과 이를 지역사회에서 활용 가능한 수준으로 지속적인 업그레이드
- 세제 혜택: 수소 등에 대한 차액을 직접적으로 보전하는 것과 전력사용량 감소의 간접적 혜택 등의 2가지 방향으로 진행
- 지역발전 사업 연계: 지역 사회 발전을 위한 스마트 시티 구현, 지역 재생 사업 등과 조합을 통해서 참여 지역의 발전 방향을 제시

○ (리빙랩 공동체 형성 및 관리) 지자체와 지역주민, R&D 기술 개발자 간 ICT를 통한 상호 밀접한 관계 구축이 가능한 가상 공간 도출

- 지역 주민의 불편을 최소화하되 활용에 대한 자발적 의견 수렴을 위한 가상공간을 창출
- 가상 contol center 및 사이버 사랑방 등을 도출하여 지역 커뮤니티를 창출하고 의견을 지속적으로 수렴할 수 있는 장을 마련함
- R&D 수행주체와 data연계가 원활하도록 open 랩 개념 도입
- 각 지역 주민과 data 창출을 위해서 Opinion Market 개념을 Open Lab에 도입하여 지역 주민의 적극적인 참여를 유도

- (Open Lab) 기술개발 연구자, 민간기업, 지자체, 최종사용자로서의 지역주민 등이 상시 유입되어 의견을 공유하고 기술개발 방향성을 유도하는 가상의 연구공간
- (Opinion Market) 실 사용자로서 지역주민의 자발적 참여를 유도하기 위해 기술개발 성과 (프로토타입) 등에 대한 의견을 연구개발자와 교환할 수 있는 프로그램으로서 가상 시장을 형성 (예: 의견 채택시 E-coin 지급 등)

○ (제품/서비스 실용화) 연구개발 성과물이 시장에 안착될 수 있도록 유도할 수 있는 제도화 실시

- 3년간 보조금 지급 등 이후 시장경제 활성화 등의 정책적 제도 정비

그림 4.16. 리빙랩의 프로세스

□ 수소 사회 구축을 위한 리빙랩 구성 가능성 분석

○ 지자체의 주민수용성 확보를 위한 의견은 홍보 및 교육, 공공시설위주, 수소생산과 활용지역간의 이격 등 총 3가지로 분류될 수 있음

– 이러한 전략은 도심지내 수소 생산 혹은 직접적인 활용을 제한하는 방향으로서 제시되고 있음을 의미

– 다양한 지역에서 추진중인 연료전지 발전이 주민들의 반발에 부딪혀 표류중이거나 백지화됨

– 이러한 배경에는 강원도 강릉의 폭발사고로 인한 안전성에 대한 주민의 두려움이 가장 크며, 주민 의견 수렴과정의 미비가 2번째 사유로 분석되고 있음

○ 연료전지 발전에 대한 주민 불안 예

– (함양) 경남 함양군에서 추진중인 함양 그린 연료전지 발전 전기사업이 `19.09.10 기준으로 철회

· (사유) 강릉 폭발사고로 인한 안전성 우려 등을 주된 이유로 사업부지 인근 3개 마을 주민의 강력 반발

· (사업개요) 경남 함양읍 신관리내 5,600억투자를 통한 80 MW 급의 연료전지 발전시설 설치

– (옥천) 충북 옥천군내 추진중인 수소 연료전지 발전소 건립이 수개월째 표류중

· (사유) 안전성에 대한 우려 및 주민수용성 절차 무시

· (사업개요) 충붕 옥천군내 20 MW급 연료전지 발전설비 설치

– (인천) 동구 수소연료전지 발전 사업에 대해 4월 이후 지속적인 협의를 지행하였으나, 무조건적인 백지화를 요구

· (사유) 안전성에 대한 우려 및 주민수용성 절차 무시

· (사업개요) 인천 주민 밀집지역에서 270 m 떨어진 지역에 39.6 MW 연료전지 발전시설 설치

– (대전) 도안지구 및 대덕구 등의 연료전지 발전 계획에 대해 비대위 설치 후 백지화 요구

· (사유) 인구밀집지역 설치 및 안전성에 대한 우려

· (사업개요) 대전 유성구내 원신흥동 중학교에서 약 100 m 떨어진 지역에 11.4 & 10.4 MW 급 2기 설치

○ 주민 수용성 확보를 위한 전략적 접근

- (수소 생산과 활용의 분리) 1차적으로 안전성에 대한 우려가 높기 때문에 실질적인 생산 플랜트를 활용지역과 최대한 먼거리로 이격해야할 필요성이 있음
- (주민 의견 수렴절차) 초기 사업단계부터 주민과의 의견수렴과 공동체 구성을 실시해야 함. 아울러 최대한 주민의 생활 터전에서 벗어난 지역에서 수소를 생산하고 전력 등을 공급하는 분산 발전 정책을 실시함으로써 주민 불안 해소 전략을 추진
- (실질적인 혜택) 대다수의 지자체에서 제시한 주민에게 돌아갈 실질적인 혜택을 정책적으로 제공해야함
  · 주민 편의시설 설치, 전력비 감면 정책 등을 실시하여 주민이 직접적으로 받는 혜택을 강조
- (안전성에 대한 과학적 근거) 현재까지 과학적으로 제시할 수소의 안전성 실험이 부족하여 주민에 제시할 근거가 부족함. 따라서 안전성 평가를 위한 면밀한 과학적 실험 등을 근거로 주민설명회 개최

○ 리빙랩 구성 가능성 평가

- 현재 연료전지 발전 등에 대한 실질적인 법적/제도적 지원책이 없음. 단지 수소 교통에 대한 근거만이 존재하기 때문에 실질적인 마을 혹은 도시에 대한 혜택이 없는 것으로 보일 수 있음
- 수소의 위험성에 대한 과학적 근거 등이 제시되지 않았기 때문에 주민의 불안과 우려는 당연할 수 밖에 없음
- 수소의 활용이 실질적인 주민 참여 동기가 어려워 보임. 즉 주민이 의견을 제시하기 위해서는 주민이 이해될 수 있는 분야에 한정되나, 수소 분야에서 실질적인 기술개발에 대해 주민이 의견을 제시하기에는 제한적일 수 밖에 없음
- 따라서, 일반 주민과 리빙랩 구성을 하기에는 요원해 보임. 따라서 리빙랩 구성을 위해 추가적인 전략이 필요함

○ 실질적인 연구개발과 관련된 연구자 혹은 산업체 구성원간의 리빙랩 구성

- 대표적으로 울산시 등의 산업체 등에서 내부 순환 버스 혹은 사택에 거주하는 주민 위주의 리빙랩 구성이 용이할 것으로 사료
- 아울러 주민 수용성 확보를 위해 해외에서 연구개발이 이후 국내 도심에 적용하는 우회전략을 추진

- 실질적인 수소에 대한 안전성 확보를 위한 실증 플랜트를 해외에서 운영하여 국내 도입하는 전략을 추진

○ 우회 전략

- UAE에서 추진하는 수소 교통에 대한 기술적 검토에 안전성 확보 차원의 실험을 추가하여 결과를 국내 도입하는 전략을 추진
- 이후 주민설명회를 통하여 리빙랩 구성 절차를 시행
- 수소도시 구축을 위한 본기획에서 이러한 방향성을 명확하게 수립

4. 요약 및 수소 도시 추진 방향성 분석

□ 지자체별 계획 모델과 7개의 수소 도시 모델 비교

○ 표 4.1은 7개의 수소 도시와 지자체에서 계획하고 있는 모델을 직접적으로 비교한 것으로 7개의 수소 도시 모델은 지자체 계획을 모두 포함하고 있음을 직접적으로 알 수 있음

표 4.1. 7개의 도시모델과 지자체 계획 모델의 비교

도시 모델	주요 내용	관심 지자체
주거 모델	– 공동 주택과 단독 주택을 대상으로 수소 에너지로 열과 전기를 공급 – 중앙집중형 연료전지 발전 (전력)과 분산형 연료전지 발전 (열병합) – 개별 주택별 연료전지 발전	· 울산시 · 충청남도 · 대전시 · 화성시
교통 모델	– 수소충전소 위주의 인프라 구축 모델 – 차고지형 대형 충전소 인프라와 복합 수소 충전소 인프라 – 단독 수소 충전소 인프라	· 모든 지자체
물류 모델	– 해외 생산 수소의 유입창구로 대용량 저장, 운송이 가능한 수소 공급의 헤드쿼터 모델 – 저장설비, 파이프라인 등 운송설비, 특수차량, 튜브트레일러 등의 복합설비들로 구축되며, 산업도시로 구분될 수 있음	–
해양 도시모델	– 수소 선박 등의 해양 레저 도시 모델과 어촌계를 위한 모델 – 수소 선박 수소공급 인프라 – 어류 보관 창고, 냉동창고 등의 어촌 산업 인프라	· 강원도
대용량 수소생산 기지모델	– LNG 생산기지 위주의 수소의 대양 생산과 공급이 가능한 모델 – LNG 수소 추출 및 저장 설비 인프라 – 파이프라인, 튜브트레일러 등의 운송 인프라	· 강원도 · 통영시 · 평택시
수전해 수소 생산단지	– 태양광 혹은 풍력 등의 신재생에너지 기반의 수소 생산 및 공급 인프라 – 수전해 설비 인프라 및 저장 인프라 – 파이프라인, 튜브트레일러 등의 운송 인프라	· 전주, 완주군
관광단지 모델	– 청정모델로서의 리조트, 해양레저, 육상레저, 아울렛 등의 수소 기반 관광단지 모델 – 청정수소 생산 인프라 (LNG 추출 설비+CCS, 신재생에너지+수전해) – 파이프라인의 내부 공급 인프라, 저장인프라	· 강원도 · 화성시

○ 지자체에서 제안된 수소도시 모델은 7가지 범주에서 크게 벗어나지 못하나, 추가 사항으로 부품산업 단지와의 연계 등의 산업 발전계획과 연계하고자 함

- 지자체내 산업 육성과 정부 정책 연계에 대한 의지 표명으로 확인될 수 있음
- 따라서 수소사회 구축을 위한 기술개발과 지속가능성을 위한 리빙랩 등에 적용할 수 있는 전략적 방향성이 될 수 있음
- 강원도, 창원시, 울산시, 대전시 등은 이와 관련된 전략적 방향성이 존재

○ 각 지자체별 수소 수급 혹은 생산에 대한 전략 도출이 필요

- 여수, 울산, 충남 등의 국가 산단이 존재하는 지역 외적으로는 수소생산 혹은 수소 수급에 대한 전략적 방향성이 없음
- 부생수소를 전국 단위로 이송하기에는 많은 이송 비용에 따른 경제성 확보에 불리할 가능성이 높음
- 지역적 수소 수급가능 지역을 sector화하여 정부차원에서 공급 방안을 제시해야 할 필요가 있으나 단기적으로는 수소 수급에 대한 평가를 통해 R&D 기술개발 규모를 결정해야 함

○ 수소 단가 저감을 위한 이송 수단에 대한 기술 개발이 필요하며, 이에 대한 인프라 기술 개발을 최우선적으로 추진

- 울산지역의 3 km 내외의 파이프 라인을 통한 경험을 확대하여 수소 이송 방안 전략 도출
- 고압 압축 튜브트레일러를 개발하여 현 상황보다 대용량 수소 이송이 가능하도록 전략 도출

○ 각 국내 기술 수준이 선진국 수준에 이를 때까지 국내/해외기술의 혼합 인프라 구축이후 향후 국내 기술로 대체할 수 있는 전략 추진

- 국내 기술수준과 선진 기술 수준이 직접 비교가 될 수 있는 비교 평가 및 성능 검증의 장으로서 실증시범 R&D를 추진
- 타부처 등과의 직접적인 collaboration을 통해서 국내 기술 평가의 장을 제공할 수 있는 실증시범 R&D를 추진

○ 리빙랩 구축을 통해 직접 사용자의 불안을 해소 할 수 있는 전략적 방향 도출

- 수소도시 실증 R&D 진행시 지역 주민과의 원활한 의사소통의 장으로서 양방향 기술개발과 이를 통한 지속가능한 모델을 창출

- 수소 도시만을 목적으로 하지 말고, 지역산업과의 연계 등 복합 국책사업으로서의 비전을 제시함으로써 지자체 및 지역 주민의 적극적인 참여의 장을 제공

○ 수소에 대한 부정적인 의견을 극복하고자 하는 전력외에 보완하고자 하는 전략을 추진할 필요가 있음

- 각 지자체별 주민, 시민단체의 우려사항을 굳이 극복하고자 하는 것이 아닌 우회전략을 추진
- 즉 수소에너지를 강조하기 보다, 핵심 키워드를 미세먼지 감소, 지역 재생사업 내 신재생에너지 단지 조성 등으로 우회
- 지역 발전을 위한 사업을 추진함과 동시에 지역 주민에게 직접적인 혜택이 갈 수 있는 복지와 연계

○ 첫 단계부터 직접적으로 사용자와 연계를 시도하지 말고, 사용자가 간접적인 체험을 할 수 있도록 유도

- 개별 주택에 직접적으로 수소에너지를 공급하는 것보다는 분산형 열병합 발전과 중앙집중형 발전 등으로 간접체험 공간을 제공
- 각 개인 승용차를 대상으로 하기보다는 공공버스, 관용차량 등을 중심으로 수소교통 체험을 실시
- Open Lab을 통한 간접체험의 장을 제공함으로써 자발적인 참여 유도
- 적극적인 의견 개질을 하는 참여자에 혜택 제공이 가능한 전략 추진

제 2절 사업의 비전 및 목표

1. 비전 및 수소도시 구축을 위한 장단기 기술 개요

□ 수소 도시의 비전의 도출

○ `30년 기준 194만톤의 수소공급이 수소경제 활성화 로드맵상의 비전으로 제시되고 있으며, 이를 기준으로 할 경우 194만톤의 수소의 열량은 2.33×10^9 GJ/년임

*** 수소 에너지 밀도는 120 MJ/kg이므로, 120MJ/kg×1,940,000,000 kg/년 = 2.33×10^9 GJ/년**

*** 단 이러한 수치는 중간 에너지 손실 등을 고려하지 않은 것임**

○ 국내 에너지 총 공급량은 `17년 기준 302백만 toe (1 toe=42 GJ 이므로, 12.7×10^9 GJ/년)으로 조사됨 (에너지 통계 핸드북, 한국에너지공단, 2019)

- 따라서, 현재 수소경제 활성화 로드맵상 `30년 에너지 공급량은 **`17년 기준 국내 에너지 총량의 7%를 공급**하는 량임
- 에너지 통계 자료에 따르면, 가정용, 수송용, 공공용 (발전 및 열량)은 `17년 기준 에너지 총 공급량의 38.4%
- 수소 경제 활성화 로드맵의 194 만톤은 수소용과 발전용이므로, 실질적으로 도시내 공급되는 1차에너지 양의 4.9×10^9 GJ/년의 일부를 대체하겠다는 의미임
- 그러므로, 47.6%의 도시내 에너지량을 공급하는 것임

○ **(요약)** 수소경제 활성화 로드맵의 수소 에너지 공급량에 따른 `30년 수소 도시의 비전은 국가 도시내 에너지 총량의 47.6%를 수소로 공급하겠다는 의미로 요약됨

- 수소에너지 공급시 손실량은 저장 등의 방식에 따라 다를 수 있지만, 범위가 10−40% 이내이므로, 수소 공급열량은 약 $1.4*10^9$ GJ/년로 정리될 수 있음
- 이 수치는 도시 공급 에너지량의 28.6% 이므로, 전국 도시 에너지 사용량의 1/4공급이 됨

○ **(비전)** 수소경제 활성화 로드맵에 따른 수소도시 비전은 `30년 기준 수소 도시내 에너지 공급량 20% 이상을 수소에너지로 공급하는 것으로 설정

- 실질적으로 수소경제 활성화 로드맵에 맞춘 수소도시의 비전이나, 가능성에 대한 것은 본 기획 등에서 더 깊은 분석이 필요함

□ 수소 도시 비전

그림 4.17. 수소경제활성화 로드맵에 따른 수소 도시 구축의 비전

□ 수소 도시 비전 달성을 위한 본 기획 방향성

○ 수소 경제 활성화 로드맵은 수소 생산기술을 `30년 기준 부생수소, 수전해 수소 그리고 해외 생산 수소량의 합계를 50%, 추출수소를 50% 생산으로 제안

- 부생 수소는 현재 생산량 대비 증가 가능성이 없으므로, 현 단계를 유지한다고 할 경우 해외 생산과 수전해 수소에 대한 비율을 증가해야 함
- 현재 부생수소 여유용량은 년간 8,636 톤/년로 신재생에너지 백서 2018은 제시하고 있으며, 수소 경제 활성화 로드맵은 50,000 톤/년 (여유용량을 모두 생산할 때)로 제안하고 있으나, 실질적으로 100% 운영은 불가능하므로, 실질적으로 운영 가능한 범위는 10,000 ~ 50,000 톤/년 내외로 사료
- 실질적으로, 50% 달성을 위한 수소 공급량은 97 만톤/년이므로, 약 92 만톤/년을 수전해와 해외 생산으로 달성해야 함

○ (수전해 및 해외 생산 목표량) 92 만톤/년의 생산량 확보 (= 2,520 ton/d)

- (수전해 기술) 국내 수전해 기술의 효율성이 55-60 kWh/kg H_2 이므로, 55-60 MWh/ton H_2가 요구됨
  · 이를 고려하면, 2,520 ton H_2/d의 수소를 생산하기 위해서는 138.6 GWh~151.2 GWh/d의 전력량이 요구
  · 국내 `30년 신재생에너지 공급 목표인 태양광 30 GW를 고려할 경우 태양광은 240 GWh/일 생산량 중 58 ~ 63%를 수전해에 활용할 경우 가능한 수치임
  *** 국내 일조 총시간은 `18년 기준으로 평균 2382.1 시간이며, 이는 일 8시간 운전으로 환산**
  · `18년 기준 신재생에너지 단가 180.86원/kWh (한국 전력공사, 동아일보 `19.06.05) 고려하면, 산업용 전력 약 110원/kWh에 비해 71원의 손해가 있으므로 약 98~107 억/일의 손해를 감수해야 하는 상황임
  *** 풍력은 설비 가용시간을 조사해야 하나 자료가 없어 태양광으로 대체함**
- (해외생산) 현 단계에서 중동 혹은 타 지역의 신재생에너지를 활용할 경우 20-30 원/kWh의 단가를 활용할 경우 6-9배 가량 저렴하게 생산이 가능함.
  · 따라서 해외 생산이후 운송비용을 고려한 단가와 국내 생산 단가를 비교하여 저렴한 쪽으로 방향성을 도출해야 함

○ 기술개발 개요

- (수소생산) 수소도시 구축을 위한 수소 생산은 장기적인 비전으로서 `30년을 기준으로 해외 생산에 대한 기술개발이 필요함
  · 수소 경제 활성화 로드맵 및 비전 달성을 위해서는 수소 공급량이 절대적으로 요구되며, 이는 부생수소 만으로는 불가능하므로 해외생산에 대한 비중을 증대해야 함.
  · 해외의 저렴한 신재생에너지를 활용하여 국내 기술로 수소를 생산하여 유입하는 전략을 기준으로 수소 생산 단가 저감의 기술개발 전략이 필요함
  · 이와 함께 이송 기술 개발 전략적 검토가 필요하며, 대용량 수소 이송을 위한 액화 혹은 암모니아 수입에 대한 전략 검토가 필요함
- (수전해 기술) 효율성 증대를 위한 기술 개발이 절대적으로 필요함
  · 현재 수전해 기술 효율 1% 향상시 63,554원/ton H_2 절감이 가능하며, 1kWh 절감시 약 18만원/ton H_2 절감이 가능
  · 따라서 현 단계에서 수전해 기술의 효율성 증대를 위한 절대적인 기술개발이 필요함
- (수전해 기술 활용 해외 생산) 효율성 증대를 위한 기술 개발이 절대적으로 필요하나, 가격 절감율이 국내 생산에 비해 크지는 않음

· 해외 태양광 단가를 25원/kWh로 가정할 경우 효율 1% 향상시 8,785 원/ton H_2 절감이 가능함
· 국내 산업용 전기 단가를 고려할 경우 효율 1% 향상시 38,654원/ton H_2의 절감이 가능함

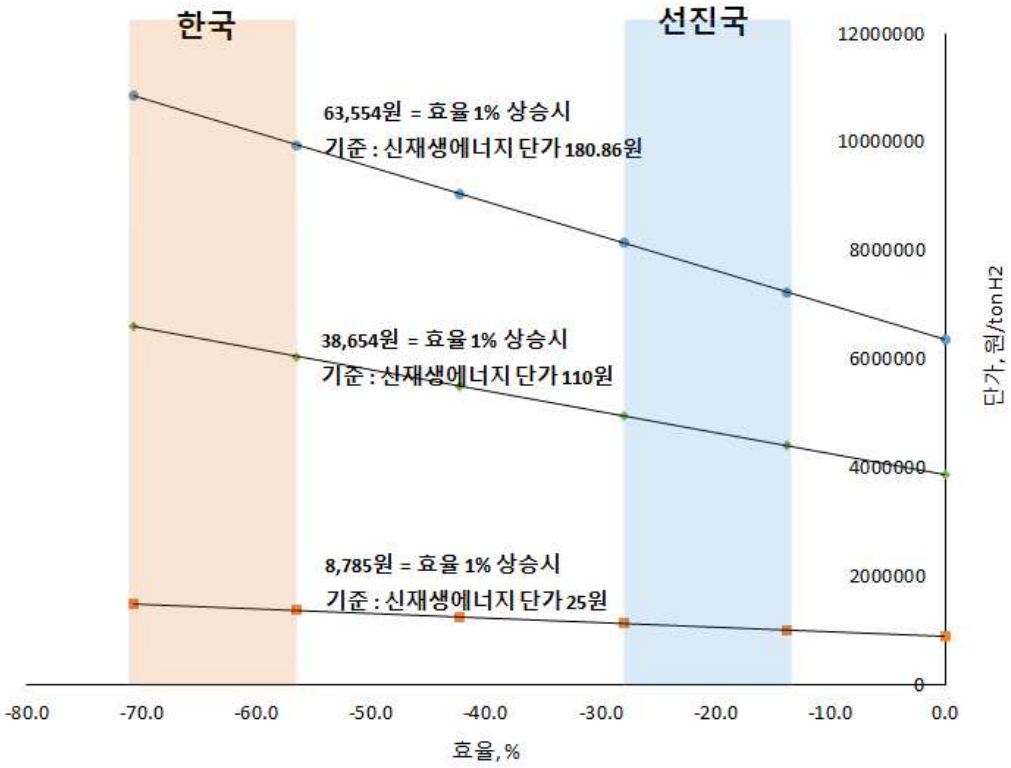


그림 4.18. 신재생에너지 단가별 수전해 효율 향상에 따른 수소 생산 단가 저감

– (수소공급) 국내 수소의 이송 방법은 크게 2가지로 구분
· (고압 가스압축) 현재 200 bar내외의 가스 압축 튜브트레일러로 운송하고 있으나, 산업부를 기준으로 350 (450) bar 이상의 가스 압축 튜브트레일러 기술 개발을 진행 중이므로 현재 운송단가를 크게 낮출 수 있을 것으로 기대
· `17년 기준으로 수소 얼라이언스에서 조사한 200 bar 기준 운송비용은 200 km 범위에서 7,656원/kg으로 450 bar 기술 개발시 2,098원/kg으로 낮아질 것으로 분석함
· 이를 700 bar 수준으로 증가할 경우 운송량 증대로 인하여 약 1500원/kg까지 낮출 수 있을 것으로 사료됨
· (파이프 라인) 파이프 라인 구축은 운영비에 비해 구축비용이 더 많이 요구되며, 운송비용은 상대적으로 낮을 것으로 분석되나, 실질적으로 취성에 대한 연구가 필요

· 상대적으로 운송거리에 대한 수소 가격 변화는 미비한 것으로 분석 (수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안, 수소융합얼라이언스 추진단, 2017)

*** 운송거리의 영향은 수소 단가에 약 4.3 %의 영향력이 있으며, 300 km (7,990 원/kg H_2)에서 100 km (7,323 원/kg H_2)로 변화할 때 약 667원의 절감이 있었음**

*** 이는 실질적으로 운송비용의 대부분을 인건비와 운영비에 의존한다는 것을 의미함**

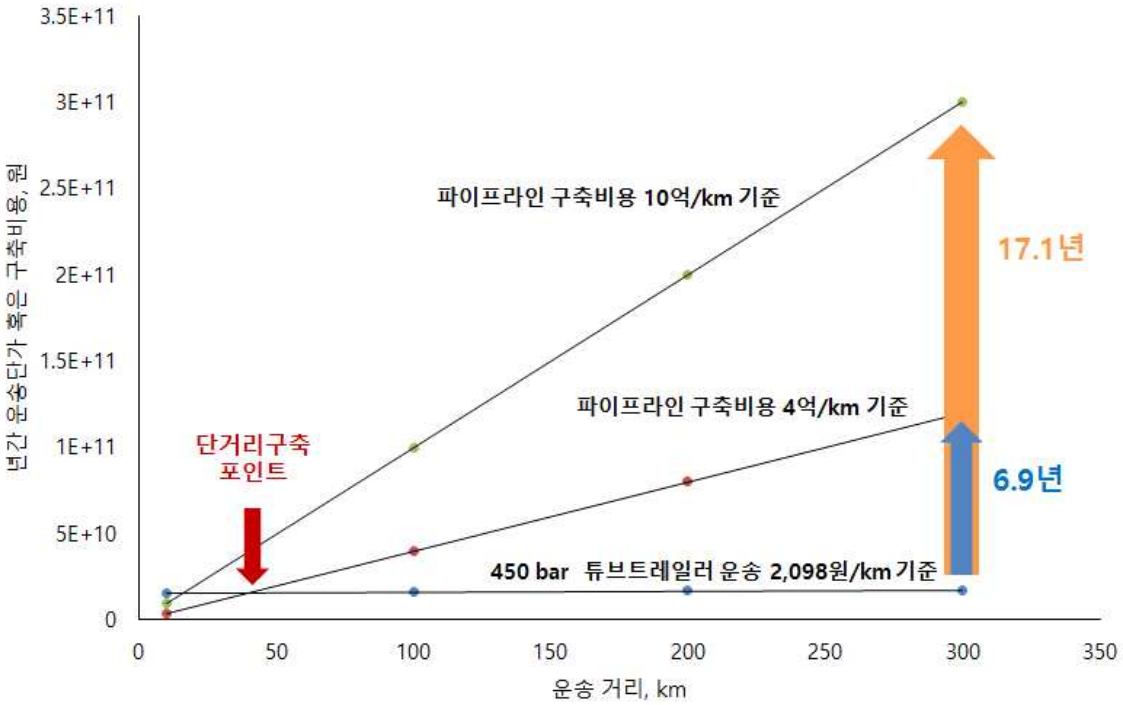


그림 4.19. 국내 수소 유통구조에 따른 파이프라인 구축과 튜브트레일러 운송비 비교
(데이터: 수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안, 수소융합얼라이언스 추진단, 2017, 수소경제활성화 로드맵)

· 그림 4.19는 수소융합얼라이언스에서 조사한 데이터와 수소경제활성화 로드맵, 그리고 울산수소타운 구축자료를 바탕으로 분석한 운송비용으로 국내 수소 유통가격 구조의 특이점으로 인하여 초 단거리는 파이프라인이 더 경제적임

· 즉 튜브트레일러는 300 km이내의 운송거리에서 운송가격에 대한 큰 차이가 없는 것으로 조사됨에 따라, 파이프 구축 비용이 4억/km 일 경우 약 40 km거리까지는 더 경제적인 것으로 나타남

· 그러나, 실질적으로 수소 경제가 활성화 될 경우 100 km이내의 거리에서 수소 튜브트레일러의 가격이 낮아지는 방향으로 변화가 있을 것으로 예상됨

· 현재 분석된 자료는 300 km 이상 운송시 파이프라인은 6.9년을 기점으로 튜브트레일러 보다 경제적으로 변화되는 것으로 분석됨. 울산의 구축비용을 견주어 보아도 17년을 기점으로 경제성을 확보하는 것으로 나타남

– (수소활용) 수소 교통과 수소 주거는 도시 구성의 기본이므로 이를 위주로 기술개발 전략을 추진

· (연료전지) 단기적으로 중앙 집중형 발전 모델이나 혹은 분산형 열병합 발전 위주로 기술 개발 이후 주택 모델로 접근하는 방안을 추진

· (수소 충전소) 가장 단기간내 상용화가 가능한 인프라 분야로 국산화 기술 증대를 위한 방향으로 접근하는 방안을 추진하되, 현재 수소자동차 모델 보급 계획에 따라 수익성 보존을 위한 복합 수소 충전소를 추진함

· 수소자동차 1대 30,000 km/년 주행시 필요 수소공급량 312 kg/대

*** 연비 96 km/kg H_2를 가정 (수소차 넥쏘 연비)**

· 수소 충전소 1개소 수소 충전설비 구축시 300 Nm^3/hr (약 600 kg/d) 구비를 가정

· 수소자동차 충전시간 15분, 넥쏘 수소 연료통 6 kg기준으로 1개 충전소 당 24시간 운영시 96대 운영가능하므로, 수소경제 활성화 로드맵상 `22년 기준 충전소 680개소, `40년 기준 30,208 개소가 필요하며, 현재 예정된 `22년 기준 310개, 40년 기준 1200개소는 부족한 숫자임. 따라서 수소 자동차의 편리성을 위한 인프라 구축 방안이 더 고려되어야 함

· 수소 도시별 1기 구축시 운행 가능 차량은 현장형 추출수소 기반 충전소 300 Nm^3/hr 구축시 수소자동차 운영이 충분할 것으로 예상

*** 충전소당 수소 자동차기준 일 100대 운영가능한 양**

· 수소 버스 기준으로 12 kg 연료통을 기준으로 할 경우 30분이상 충전시간 소요되므로 1기 충전소당 1일 운영 가능한 버스는 48대이며, 충전량을 고려할 경우 1기 충전소당 96대 운영가능

*** 연비 10 km/kg을 고려할 경우 총 운영가능 120 km 운행가능하므로, 시내버스 노선 60 km내외 일 경우 2일에 1회 충전**

· 수소로드맵상 구축 목표 (`22년 기준)에 따라 충전소 310개 건설시 300 Nm^3/hr 기준으로 약 100대 운영 가능하므로, 총 가능 수소 자동차는 31,000 대임

· 현행 **수소 충전시간 15분 내외를 5분 내외로 단축해야 `22년 기준 수소자동차 운영 목표 달성** 가능하며, `40년 기준으로는 2분이내의 충전기술일 경우 4,000여개의 충전소가 필요함

· 중·단기 이내에는 수소 충전소 수익 창출 구조는 어려우므로 기존 LPG 주유소등과 함께 수소 충전소를 복합적으로 설치함으로써 수익을 보존할 수 있도록 추진

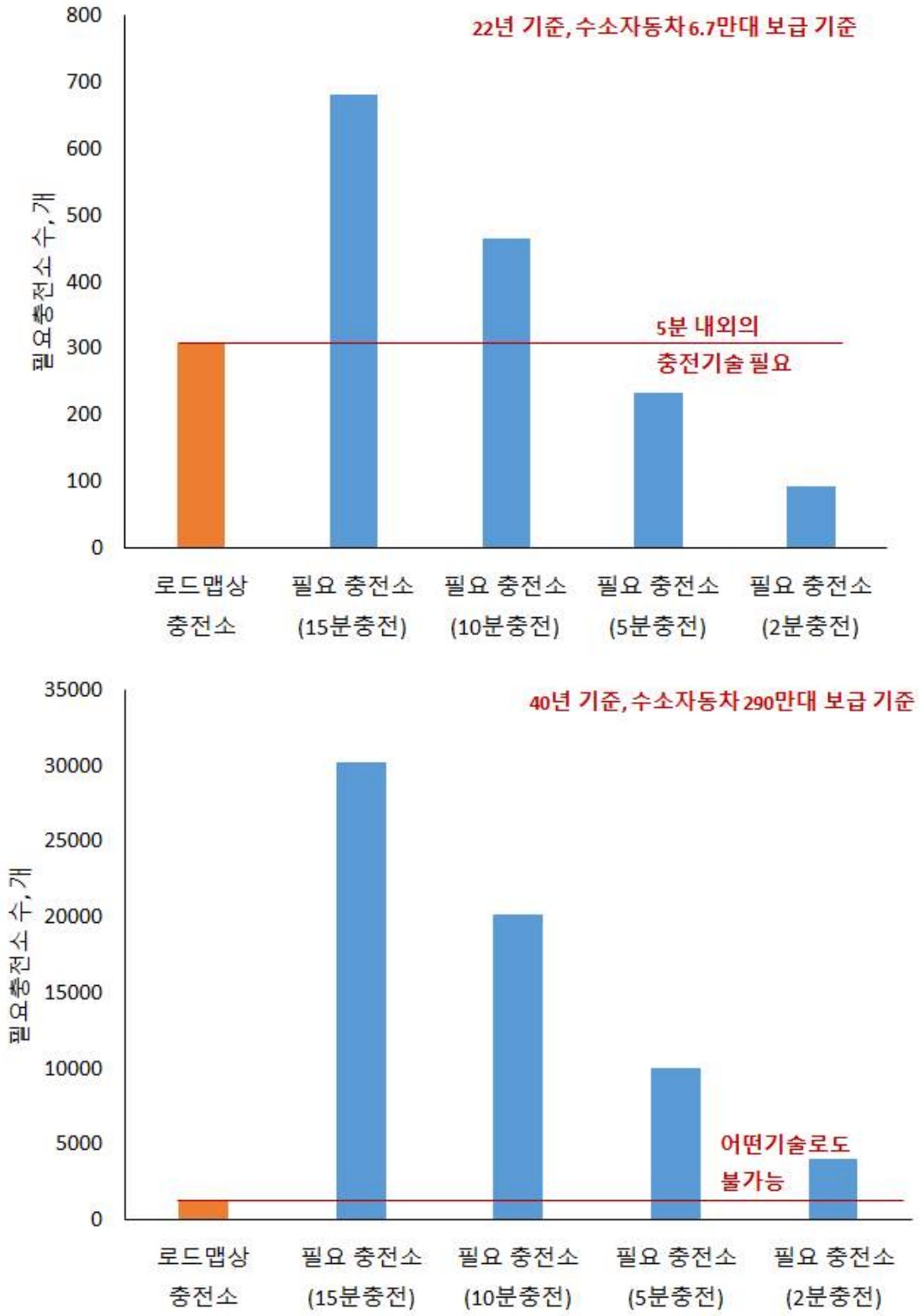


그림 4.20. 수소 경제활성화 로드맵 수소자동차 공급 목표별 필요 충전기술

2. 기술 개발 장·단기 전략

□ 단기 기술 개발 전략

○ 단기 목표년수를 `22년을 기준으로 수소도시 모델 구축 전략을 수립함

- 수소 경제 활성화 로드맵 상 주어진 기간으로서 `22년을 단기목표로 기술개발 전략을 추진하되, 이후 실증 사업을 병행하는 방향으로 추진
- 기술 개발에 소요되는 기간은 최소 3년 이후 2년이상 실증을 통해 기술의 상용화 단계로 진입

○ (대상 기술) 단기적으로 활용이 가능한 기술을 수소생산, 공급, 이송, 저장, 활용으로 구분하여 진행

○ (수소 생산) 수소 생산 기술 중에서 국산화가 추진중인 기술은 수전해 기술과 2,000 kg H_2/d 천연가스 추출 기술이 대상

- (수전해 기술) 과기부를 통해서 AE와 PEM 핵심기술 개발이 `19년 4월 공고되어 추진 중에 있으나, 상용화보다는 혁신성에 중점을 두고 개발됨. 현재 이엠코리아에서 AE를 기준으로 판매를 하고 있으나, 효율 향상이 필요하며, 신재생에너지와의 결합이 있어야 하므로 수전해 기술은 소규모 실증을 통해 효율 향상에 초점을 맞추어 진행
- (추출수소기술) 산업부를 통해서 1,000 Nm^3/hr (약 2,143 kg H_2/d) 이 발주중이며, 기술개발 가능성이 높은 것으로 추정됨. 또한 상용화 기술로 평가되며, 기술의 실증이 필요한 분야로 사료됨
- (부생수소) 별도의 기술개발은 필요없으며, 산업단지 부근에서 수소 도시 검증이 추진될 경우 최우선적으로 활용

○ (수소 공급) 튜브트레일러와 파이프라인을 통해 공급

- 공급은 본 기획에서 기술개발 대상이 아니며, 현재 상용화되어있는 기술을 적극적으로 활용하는 전략으로 추진
- 현단계에서 450 bar 튜브트레일러 기술이 산업부를 통해서 기술개발 중에 있으으로 기술개발 완료이후 장거리용 수소 공급 수단으로 활용
- 도시내 수소 공급 혹은 단거리 이송 방법은 파이프라인을 통해 이송하며, 울산수소타운에서 기 경험된 파이프라인 구축 기술을 선진국 수준으로 확대할 것을 목표로 추진

○ (수소 저장) 기본적으로 수소저장은 충전소 활용 기준인 700 bar를 목표로 추진해야 하나, 현 기술 수준을 감안할 때 튜브트레일러 이송의 450 bar를 활용

- 단 장기적으로 해외 생산을 고려할 때 수소액화기술의 확보가 중요하므로, 이를 확보하는 소규모 액화 저장기술 개발이 필요할 것으로 예상
- 국토부를 통해 액화기술이 개발 중이나, LNG 기화열을 활용하는 것으로 실질적인 기술개발과는 거리가 있으며, 핵심 기술인 초저온 확보기술과 효율성 향상에 대한 기술 개발을 추진
- 국내 환경상 지하저장 등은 논외로 구분되어야 함

○ (수소 활용) 국내 강점으로서 연료전지 발전과 수소 충전소관련 인프라 구축을 최우선적으로 고려

- (수소 주거용 연료전지) 공동주택을 대상으로 추진하되, 기술개발 전 각 공동주택 혹은 개별 주택을 대상으로 할 경우 주민 동의를 얻기 어려울 수 있음
  · 중앙집중형 혹은 분산형 열 병합 연료전지 발전을 고려하여 외부에서 공급하는 방안을 우선 추진한 이후 공동주택 및 개별 주택을 대상으로 확대
- (수소 충전소) 수소자동차의 보급대수는 `22년까지 충분하지 못할 것으로 예측되고, 또한 주민 동의를 얻기 위해 공공차량을 대상으로 추진
  · 국내 수소 충전소는 공공버스를 대상으로 추진하되, 버스 차고지 내 수소충전소 구축을 통한 시범사업을 추진하되, 충전기술을 10분 이내로 단축하는 기술을 개발
  · 수소자동차 시장 확대를 위한 해외 시범사업을 통해서 비즈니스 모델을 창출함과 동시에 해외 수소생산을 위한 첫 번째 협력 사업으로서 추진

○ (수소도시 인프라 구축) 연료전지 발전과 수소교통에 관련된 기술을 검증할 수 있는 수소도시 모델을 최우선적으로 추진함으로써 수소경제 활성화를 위한 기반을 제공할 수 있는 전략을 추진

- (연료전지 발전용 인프라) 공동주택 혹은 개별 주택을 대상으로 인프라 구축을 위한 기술 개발을 우선적으로 추진
  · 수소경제 활성화를 위한 시범사업 (지역 주민 대상) 시행 전 기술개발을 통해 안전성 검증을 추진
  · 주택내 독립 전력 및 난방 시스템 구축을 위한 기술과 연료전지 기술과의 시스템화를 통해 에너지 효율화를 운영전략 개발

· 주택단지내 신재생에너지와 수소생산 및 활용의 시스템화를 통한 통합기술 효율화와 경제성 확보 전략을 추진
· 수소 생산, 공급, 활용시스템의 전 주기적 주거용 인프라 구축
· 파이프라인을 통한 수소 공급 시스템
· (1안) 초기 수소 생산은 SMR 시스템을 통한 추출 수소를 공급하거나 혹은 부생수소를 활용하는 방안을 검토하되 생산된 수소를 단거리의 경우 파이프라인을 통해 공급하는 방안을 검토
· (2안) 연구개발을 위해 수소 공급은 튜브트레일러 운송을 통한 저장시스템을 그대로 사용하여 공급 시스템으로 활용

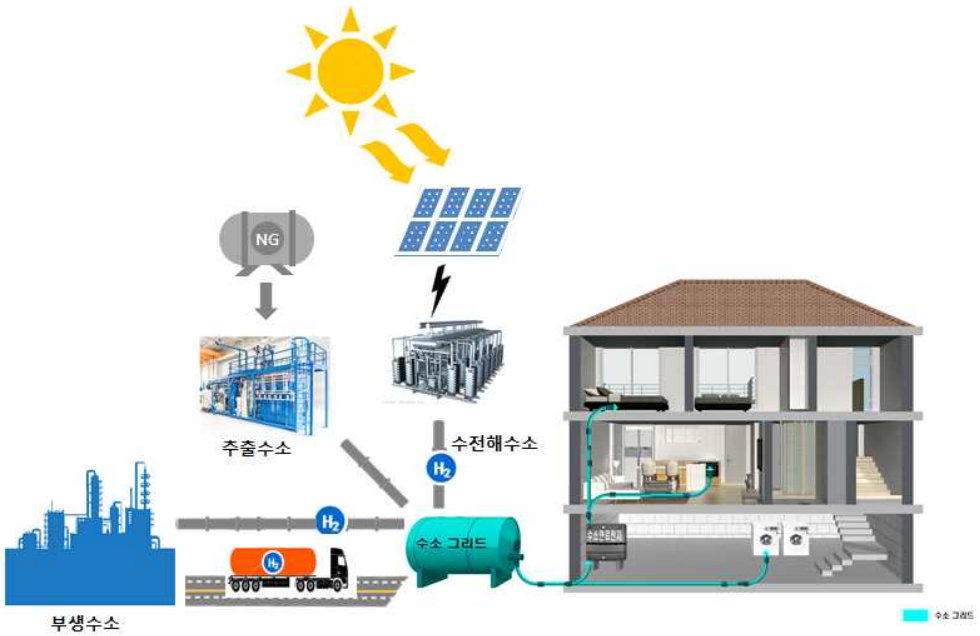


그림 4.21. 주거모델 기술 및 수소 공급 방안

– (수소교통 인프라) 차고지내 수소 버스 혹은 공공 수소교통을 대상으로 수소 충전소 모델을 구축한 이후 인프라 시스템화 검증 이후 해외 진출을 통한 수소교통 비즈니스 모델을 확립
· (1안) on-site 형 수소 충전소를 차고지내에 설치하여 수소 버스 등을 대상으로 점검하되, 1차 기술개발 대상을 충전시간 단축에 초점을 맞춤
· 수소 생산 시스템을 SMR을 대상으로 하고 이를 통한 수소 충전시스템 기술을 확보하되 기술 국산화를 추진함
· 700 bar의 수소 공급을 위한 압축기, 수소 순도 99.999%를 목표로 기술을 개발하여 상용화를 우선 추진함

· (2안) on-site형 수소 충전소가 불가능하거나 혹은 부생 수소 공급이 원활할 경우 튜브트레일러를 활용하여 수소의 공급체계를 구축

· 1차 수소 충전소 모델 검증 이후 해외 진출을 추진하되 1차 협력 모델로 수소 교통의 비즈니스 모델확립과 해외 수소생산 가능 지역을 선택하여 다중모델 추진 전략을 수립

그림 4.22. 해외 비즈니스 모델의 예

□ 장기 기술 개발 전략

○ 장기 목표년수를 `30년을 기준으로 수소도시 모델 시범사업 이후의 전략을 도출

- `22년을 목표로 개발된 기술 실증을 `25년까지 실시하고, 향후 `30년을 목표로 상용화 기술에 중점

- 기술의 실증과 경제성 확보 전략에 집중하고, 각 부처별 개발된 기술의 통합 시스템화를 추진

○ (대상 기술) 단기적으로 개발된 기술에 대한 상용화 가능성에 대한 접근과 국산화율 증대 전략으로 추진

- 해외 수소 생산 모델을 위한 전략을 우선적으로 추진

- 해외 경제적인 신재생에너지를 활용하여 수전해 기술 기반의 수소생산 기술을 추진하되 세계 최저 수소생산단가를 목표로 기술을 개발

- (수전해 기술) 현 수전해 기술의 대형화와 전력 효율성 확보를 목표로 기술개발을 추진하고 현재 직류 사용시 세계 최고 수준인 42.56 kWh/kg H_2와 1,500 kg H_2/d 생산용량 이상의 스택을 개발

*** 현재 가장 큰 수전해 공장은 10 MW이나 단일 스택은 2 MW (약 400 Nm^3/hr = 850 kg H_2/d)로 Shell에서 독일에 건축한 플랜트임**

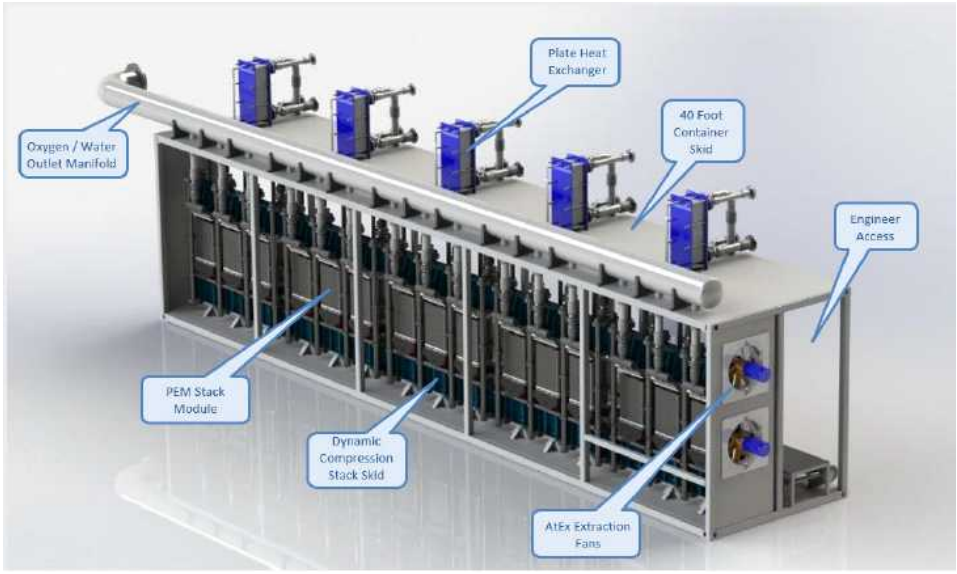


그림 4.23. 2 MW 규모의 Shell사에서 구축한 PEME 수전해 스택
(독일 1,300만톤/년 (35,600 ton/d) 규모임)

- (신재생에너지원) 현재 가장 경제적인 신재생에너지는 태양광과 풍력이므로 두 개의 에너지를 활용할 수 있는 지역을 대상으로 경제성 확보 전략을 추진

- (저장) 해상을 통한 대용량 이송이 필요한 사항이므로 액화저장 기술이 필수적임. 현재 액화기술은 국토부에서 일부 추진중이나, 장기적인 관점에서 초저온 기술을 개발하고, 현지에서 실증할 수 있는 전략을 추진

· 액화 수소를 육상 이송을 위해 액화튜브트레일러의 상용화 기술을 추진하여 국내에서 이송전략을 추진함

· 액화 수소 활용 인프라로서 수소충전소 기술을 장기적인 관점에서 on-site 수소생산에서 액화수소 충전소로 전환시점을 추진

○ (물류도시 인프라 구축) 해외 생산 수소의 국내 유입을 위한 거점으로서 물류인프라를 구축

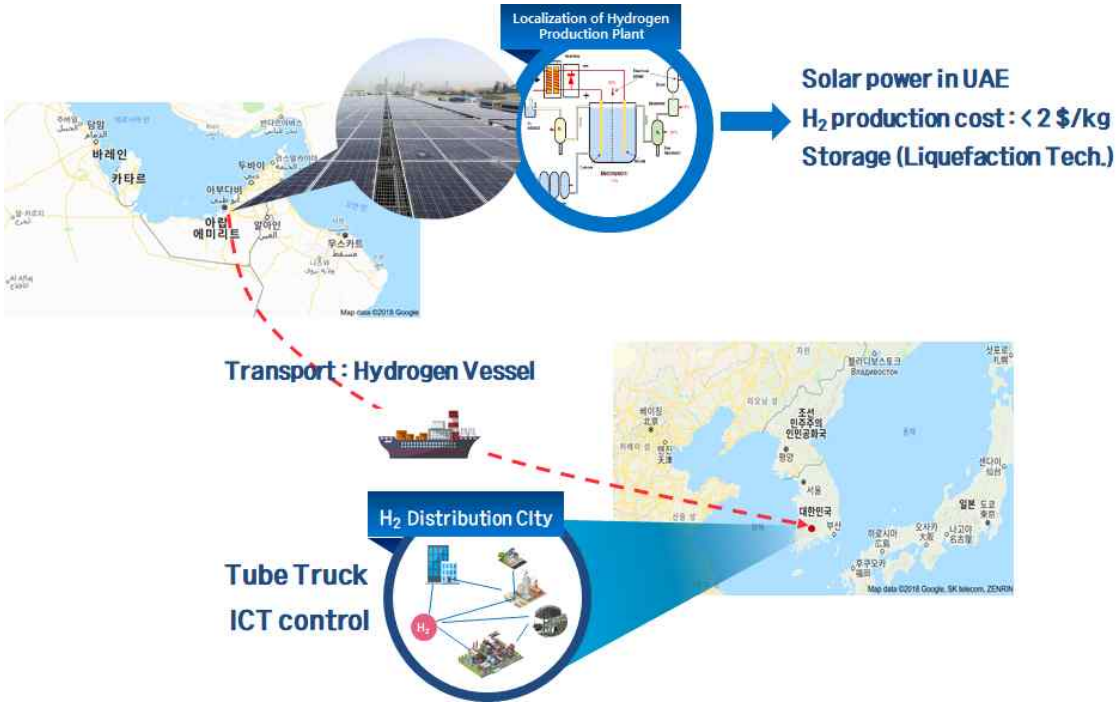


그림 4.24. 해외 수소 생산 및 이송 모델

- (대형 액화 저장설비) 해외 유입 액화수소를 대량으로 저장하여 각 지역별로 운송하기전 대용량으로 저장할 수 있는 인프라를 구축
  · 초 저온 액화설비와 금속저장 설비와의 융합을 통해서 BOG 손실을 보전할 수 있는 기술 추진
- (공급 컨트롤 센터) 각 도시별 필요한 물량 송부를 위한 물류 컨트롤 센터 설립하여 공급량을 컨트롤할 수 있는 ICT 기술을 개발
  · 중앙 컨트롤 룸과 지역별 컨트롤 룸의 연계를 통해서 전체 물량을 조정할 수 있는 스마트 에너지 시티 기술 적용

○ (수소 도시별 인프라 구축) 각 수소 도시별 계획 수소를 구분하여 압축수소와 액화수소 공급 인프라를 구분하여 추진

- (액화 수소 공급설비) 대용량 수소 충전소 (공공버스용)과 대용량 중앙집중식 연료전지 발전내 수소 공급을 액화수소로 함으로써 운송비용의 절감
- (압축 수소 공급설비) 700 bar 압축기술 산업화에 따른 일반 수소 충전소를 대상으로 공급
- (파이프라인 공급) 천연가스 공급망을 활용한 수소 가스의 혼합 기술을 개발하고, 사용처에서 순수 수소 분리기술을 적용하여 고순도 수소를 에너지원으로 공급

그림 4.25. 액화수소 이송 모식도 (위) 및 충전소 공정도 (아래) (라이트론 배포자료 참고)

· 일차적으로 가정용 연료전지를 위해 공급을 하는 방안을 추진
· 천연가스와 수소 분리기술을 개발해야 함

– (발전설비) 발전용 터빈 기술 개발을 통해 혼합가스의 분리가 필요하지 않은 IGCC 발전기술을 개발을 통해 연료전지 발전과 이원화 체계를 구축
· 천연가스와 수소의 혼합 가스를 공급하여 발전할 수 있는 체계를 구축

○ (수소 community 인프라 구축) 지역별 특화모델로서 구축된 수소 community내 수소 공급 인프라를 구축

– 기본적으로 수소 공급 수단으로 생산지와 파이프라인 연계 인프라 구축과 액화 기술 이송 기술 실증화 추진

– (생산단지) 해외 유입 수소를 제외한 분량을 LNG 생산기지 중심으로 대용량 추출수소 생산 단지를 추진

– 도시내 구현된 리빙랩을 그대로 block chain화함으로써 에너지 거래 field를 가상 공간에 구현

□ 개발 전략 요약 및 분석

○ (요약) 그림 4.26은 단기와 장기 모델의 전략을 요약한 것으로 단기모델과 장기 모델을 연계하기 위한 기술 개발을 나타내고 있음

그림 4.26. 장·단기 전략의 요약

○ (필요분석 요소) 현재 단기적인 수소 모델에 대한 적절성은 1차적으로 기획위원진의 모델과 지자체 추진모델을 조합하여 단기 구현 가능성을 평가하여 선정

– 이를 위해 가장 중요한 요소로서 수소도시 구현 기술력, 경제성, 산업 경쟁력 등의 3가지 요소로 평가하는 것이 타당하며, 그림 4.27은 이를 요약한 것임

– (구현 기술력) 단기와 장기로 구분하여 현 국내 기술력을 평가함으로써 1차 기술검증 및 인프라 구현성에 무게를 두고 진행

– (경제성) 수소의 경제성은 총 3가지 요소에 의해 결정되는 것으로 평가됨

· (생산단가) 수소 생산단가는 기술에 따라서 전력비 (수전해기술)와 재료비 (천연가스 추출, 암모니아 크래킹)으로 구분될 수 있으며, 국내에서 생산할 경우 천연가스 추출기술이 압도적으로 경제성 면에서 우세

· (저장단가) 수소의 저장은 기술이 확정될 경우 변동성이 없는 기술이며, 현재는 기체압축외에는 국내 소유기술이 없음

· (운송단가) 수소 운송은 운송거리에 의해 결정이 되며, 각 방식별로 초단거리 및 장거리는 파이프라인, 중거리는 튜브트레일러가 적합하나, 실질적으로 국내 이송거리는 상대적으로 짧을 수 밖에 없으므로, 사용량에 의존하는 것으로 평가될 수 있음. 즉 대용량 사용시 파이프라인, 충전소위주는 튜브트레일러가 적합한 것으로 분석될 수 있음

– (산업 경쟁력) 화석연료 기반의 경제체제 패러다임을 변화하는 것으로 이는 산업과 주민, 정책간의 합의가 있어야 함

· 현재 정책은 수소경제 활성화 로드맵에 따라 추진되고 있으나, 주민 수용성이 부족한 상황이므로 수용성 확보 전략 추진이 필요함

그림 4.27. 수소 도시 추진의 분석 요소

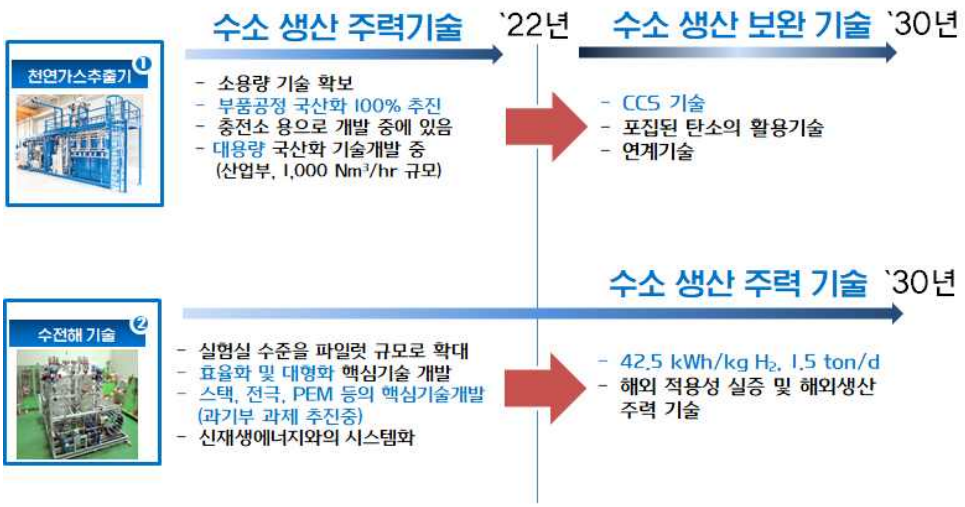
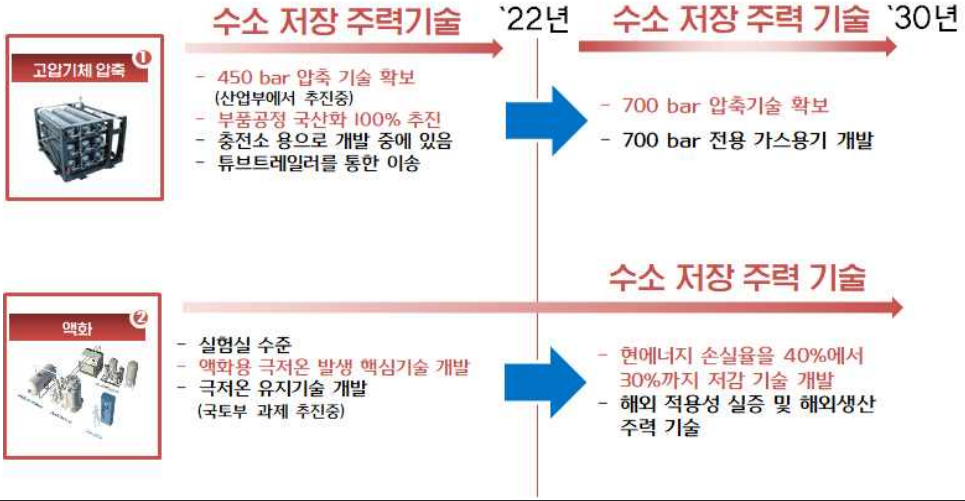
○ (수소 도시 구현 기술력) 현재 단기적인 수소 모델 구현을 위한 수소 전주기적 기술에 대한 추진 전략은 그림 4.27에 정리되어 있음

– (생산) 인프라와 연계되어야 하므로 추출 수소와 수전해기술을 대상으로 하며, 부생수소는 기술개발 대상이 아니므로 제외하였으나, 단기 모델에서는 주력 수소 공급원일 될 가능성이 있음

– (저장) 기체압축기술과 액화기술이 대상으로 평가되나, 액화는 기술이 없으며, 기체 압축기술 조차 국내에 비해 극히 미비한 기술수준이므로 순차적인 기술개발과 실증을 목표로 추진

- (이송) 튜브트레일러 위주의 이송 기술은 이미 상용화되어 있으며, 저장용기로서 450 bar와 700 bar 기술이 확보되며, 육상이송이 활발하게 진행될 예정. 아울러 울산을 통해 축적된 파이프라인 이송을 통해 수소 커뮤니티 단위의 단거리 수소 공급이 가능. 기술적으로 고압 (100 bar) 이내 재질 개발을 통해 장거리 이송으로서 기술 개발 요구
- (활용) 큰 틀에서 연료전지와 수소 충전소 그리고 수소 자동차 분야가 있으며, 각각 상용화 기술 수준에 대하여 최우선적으로 시스템화를 추진하여 진행
- 현 기술력 및 전략의 중점은 표 4.2에 요약되어 있음

표 4.2. 수소관련 분야 별 기술의 현황

	각 분야별 기술의 현황
생산기술	
저장기술	

이송기술

튜브트레일러

- 200 bar 이송
- 덕양 등의 기업에 의해 유통
- 350 (450 bar) 기술개발되면 이송 수단으로 활용

수소 이송 주력기술 `22년 → **수소 이송 보완 기술** `30년

- 고압 용기가 중요
- 일반 충전소 대상 이송 (700bar)

액화튜브트레일러

- 초저온 유지장치가 중요
- 전세계적으로 기술확보 단계
- 용기 개발은 국토부 주관으로 시행
- 장기적인 기술개발이 필요

수소 이송 주력 기술

- 이송시 손실율 저감 목표 2% 이하
- 액화수소충전소와 대형 발전사업용으로 이송

파이프라인

수소 이송 주력기술

- 울산 수소 타운에서 1차 경험축적
- 5년간 사업중 무사고 진행
- 산업단지내 파이프라인 이송 경험
- 20 bar 이내의 저압기술 소유로 단거리 이송에 적합

수소 이송 주력 기술

- 100 bar 이내의 장거리 이송용 파이프라인 재질 개발
- 천연가스 혼합 이송 기술개발
- 천연가스와 수소가스 분리기술 개발
- IGCC 발전과 가정용 연료전지 공급

활용기술

연료전지

대형 발전용 기술 `22년 → **가정용 보급 기술** `30년

- 세계 최고의 시장 (세계 최대 용량의 연료전지 발전소 건립)
- 상용화 성공
- 효율성 개선을 위한 연료전지 개발 (PEMFC & SOFC)

- 소형 열병합용 연료전지 SOFC 개발 및 시스템화 추진
- 수소커뮤니티단위에서 수소 타운으로 확장 검증
- 주민 수용성 확보

수소충전소

고압 가스 수소 충전소 → **액화 수소 충전소**

- 350 bar 국산화 완료
- 700 bar 국산화 진행 중 (해외 기술 도입을 통한 운영경험)
- 급속충전기술 확보가 시급 (현재 감압으로 인한 10-15분당 승용차 1대 충전가능)

- 대용량 차량용 충전소로 개발
- 버스, 특수차량 등의 공급용
- 급속충전 2분 이내로 단축필요

수소자동차

지게차 등의 차량 → **해외 시장 확대**

- 공공차량위주 (버스, 택시 등)
- 이미 상용화된 기술로 시장확대 정책 시급
- 일반 승용외적으로 차량의 시범사업 추진을 통한 시장 창출
- 인프라 (충전소) 보급 우선
- 해외시장 확대를 위한 시범사업 추진

- 버스 & 승용차 위주의 해외시장 진출
- 국내 충전기술 해외 시장 공략

3. 목표 수소 생산 단가

□ 해외 수소 생산단가의 분석

○ 각 선진국 국가별로 수소 생산 단가에 대한 분석은 개별적으로 실시함.

- 목표 생산단가는 각 국가별 수소기술로드맵에 명시되어 있으며, `30년 기준 궁극적인 목표로 대부분 제시
- 국내 목표는 공급단가를 제시함으로써 사실상 달성에 의문이 있음. SMR을 통한 공급 단가에 대한 달성도 불투명한 것으로 예측됨

표 4.3. 선진국의 수소 생산 단가 목표

항목	로드맵상 수소생산 단가 목표
미국	– SMR 기준 : 3.8 $/kg (중앙 : < 7 $/kg)
일본	– `30년 기준 수입단가; 30 ¥/Nm^3 (336 ¥/kg=3,637원/kg)
유럽	– 생산목표 (`30년) : 수전해 : 3 €/kg H_2, SMR+CCS : 2 €/kg H_2 – 이송 목표 1 €/kg H_2
호주	– `25년 기준 생산단가 : 2.29 $–2.79 $/kg
한국	– `30년 기준 **공급단가: 4,000 원/kg**

○ 따라서 수소 경제 활성화를 위한 실질적인 수소 생산단가는 재평가될 필요성이 있음

- (미국) 궁극적인 목표로 on–site 형 수소 생산 및 공급 단가로서 3.8 $/kg (4,488원, 1$= 1,181원, `19.06.11 기준) 을 제시
- (일본) 수입단가로서 액화형태의 수소 3,637원/kg H_2이며, 여기에 자국내 운송비용을 포함해야 함. 따라서 현지까지 이송시 5,000 원/kg H_2 이상이 될 것으로 예상
- (유럽) 생산단가 SMR+CCS 기술 기반으로 약 2,676 원/kg H_2 이며, 현지이송까지 약 4,014 원/kg H_2로 계산됨.
- (호주) 현지 생산 단가를 최대 3,294 원/kg H_2로 하였으며, 이는 수출을 위한 단가임

- (한국) 공급단가 4,000 원/kg H2는 SMR을 기준으로 달성이 가능할 수도 있으나, 여기에 운영비용을 포함한 영업비용이 포함되지 않은 단가로 국가의 보조금 없이는 달성이 어려울 듯 함

*** `30년까지 영업 적자에 대한 보조금 지급을 정책적으로 명시할 경우 달성가능함**

○ 수소 생산 방식별 가격에 대한 핵심 요소

- 그림 4.28은 미국에서 제시된 핵심 수소 기술인 천연가스 추출기술과 수전해 기술에 의한 수소의 생산시 비율을 정리해 놓은 것으로 `16년 기준의 단가를 분석한 것임

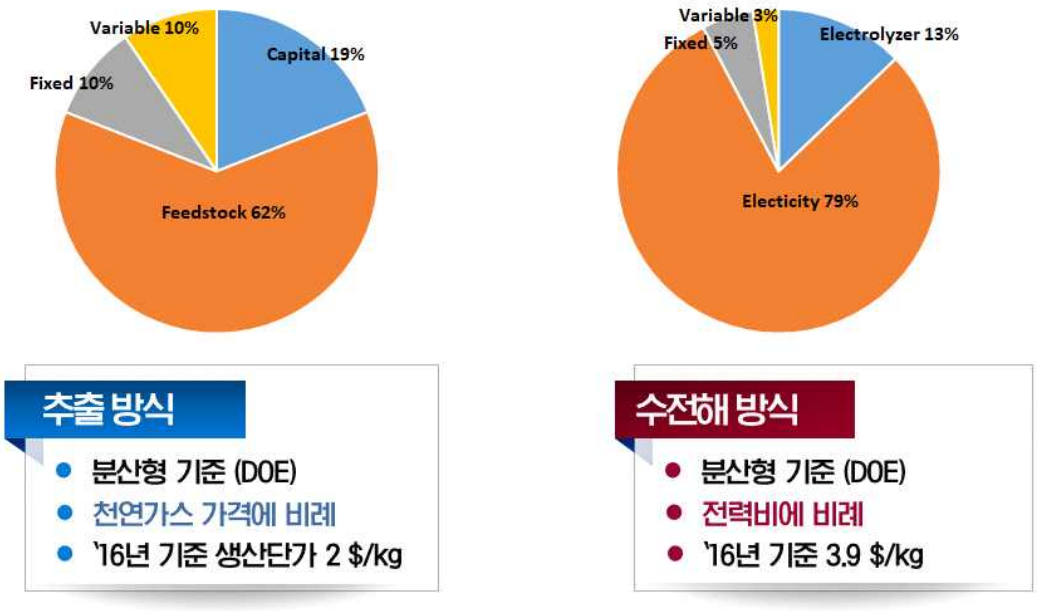


그림 4.28. 분산형 수소 생산 단가에 미치는 요소 분석
(Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan, USA 참고)

- 전체 가격구조에서 추출방식은 천연가스의 수입가격에 절대적으로 의존하고, 수전해 방식은 전력비용에 절대적으로 의존하고 있음을 알 수 있음
- 따라서, 전력비용을 낮출 수 있는 구조를 도입할 경우 수전해 설비에 의한 수소 생산이 경제성을 갖출 수 있음을 유추할 수 있음
- 수소 생산은 신재생에너지의 carrier와 저장에 대한 절대적인 의미를 가지고 있으므로 신재생에너지의 단가에 민감하게 작용할 수 밖에 없음. 또한 수전해 설비의 효율과도 밀접한 관계가 있으므로 이를 적용하여 분석된 결과를 미국 DOE에서 제시한 것이 그림 4.29임

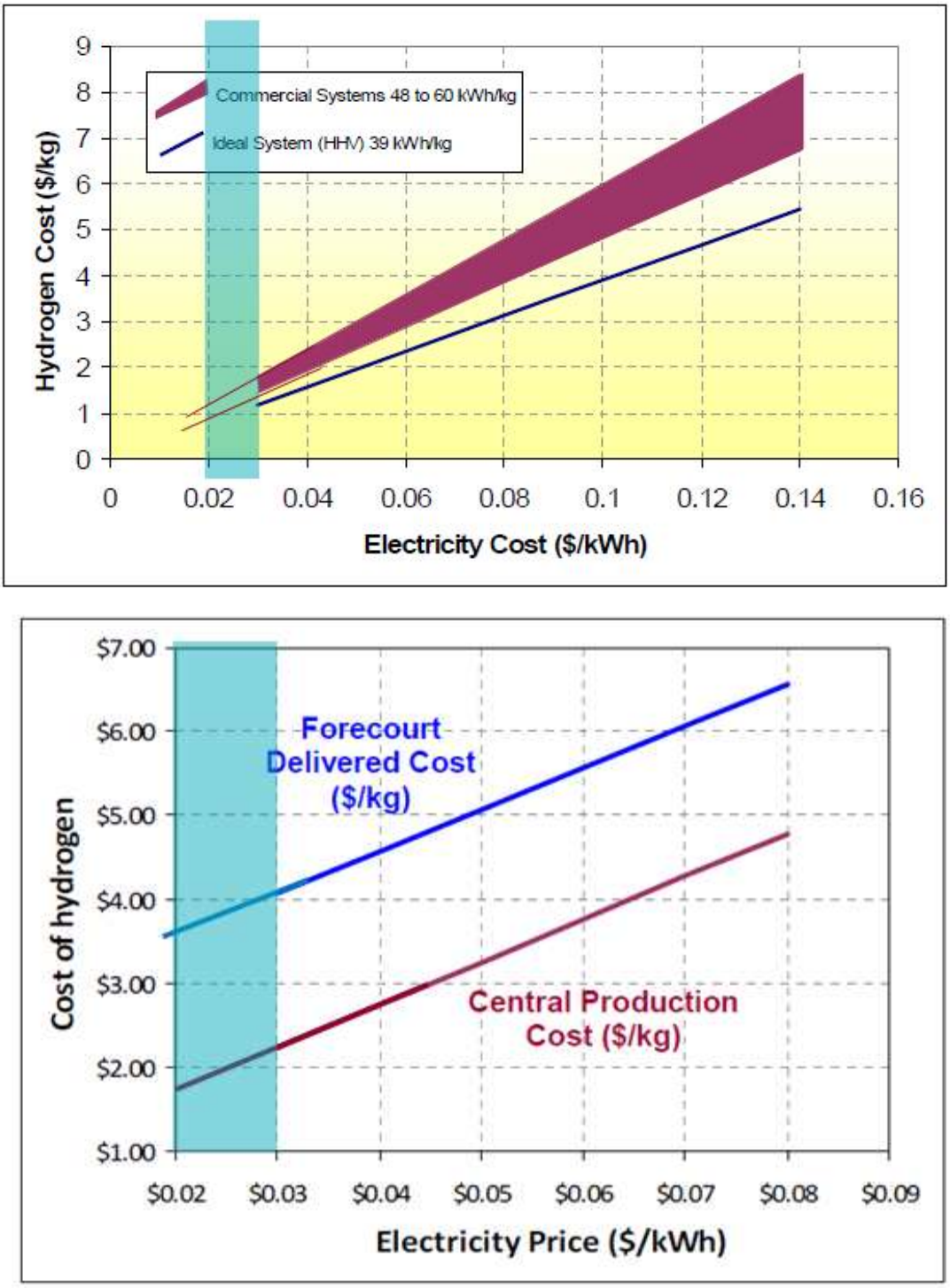


그림 4.29. 전력비에 따른 수전해 설비에 의한 생산단가의 변화
(위: 수전해 설비 효율 및 전력비에 따른 수소 생산단가, 아래: 중앙집중형 수전해 설비에서 전력비에 따른 수소 생산단가)
(Current state-of-the-Art Hydrogen Production Cost Estimate Using water Electrolysis, USA)

- 수전해 효율에 따른 가격 변동은 실질적으로 전력비용 변화에 따른 변화에 덜 민감하다는 것을 알 수 있음
  · (신재생에너지 단가) 세계 최고 수준의 신재생에너지 단가는 약 0.02-0.03 $/kWh이므로 이를 고려할 경우 수소 생산 단가는 2 $/kg 이하로 생산이 가능한 것으로 나타남.
  · 현재 중동지역의 태양광 발전 단가는 이 범위에 있으므로 이를 활용할 수 있을 경우 SMR 수준의 그린 수소를 생산할 수 있는 상황임
- 이러한 상황을 고려하여 IRENA에서 발표한 자료에 따르면, UAE 지역의 태양광을 활용할 때, 그림 4.30에서와 같이 수소 생산단가가 약 5 $/kg H_2로 평가한 바 있음.
  · 이는 태양광 발전 운영시간이 낮에 국한되기 때문에 수전해 설비의 운영이 제한적인 부분을 감안하서 분석된 것임
    *** 풀 운전기준으로 77일, 년간 일 5시간운전으로 보수적으로 잡은 기준임. 실질적으로 국내의 일조시간은 8시간 내외이므로, 중동의 경우 이를 감안할 경우 약 100일 내외가 될 듯 함**

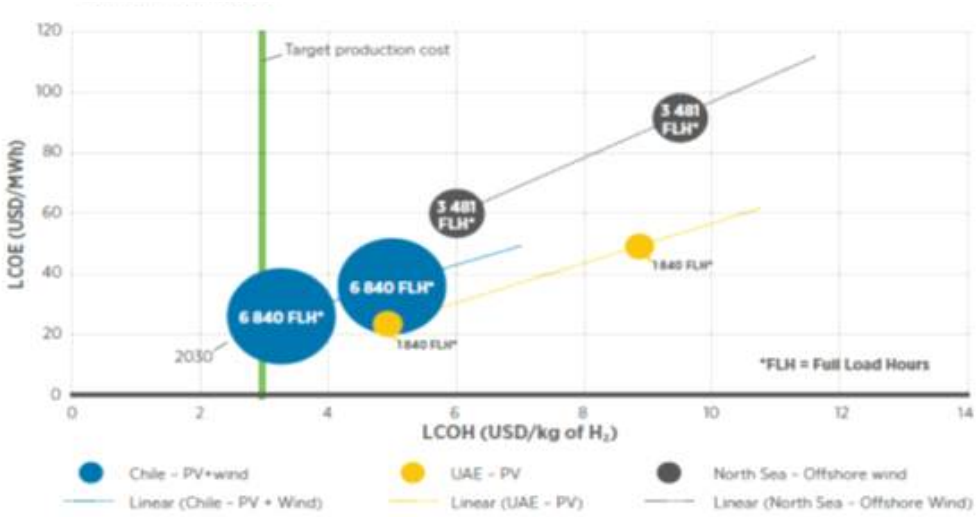


그림 4.30. 신재생에너지 현황과 이에 따른 수전해 수소 생산단가
(Hydrogen from Renewable Power, Technoloty Outlook from the Energy Transition, IRENA, 2018)

- 그림 4.30은 네덜란드에서 분석한 결과로, SMR 생산단가와 수전해 생산단가를 직접적으로 비교한 것임
- 신재생에너지 단가에 의한 경제성 확보 지점이 신재생에너지 단가가 0.03 €/kWh 이하로 낮아지는 지점임을 알 수 있음.

- 이 조건은 47 kWh/kg H_2의 효율을 달성하였을 때를 가정한 것임. 현재 DC를 사용할 경우 이 조건은 달성이 가능한 것으로 DC를 직접 적용하면, 약 42.6 ~ 49.28 kWh/kg H_2 (nel 사의 수전해 모델) 이므로 달성이 가능함
- 일반적인 수준으로 약 4.5 kWh/Nm^3 (50.4 kWh/kg H_2)일 까지는 0.03€/kWh 이하의 전력비에서 경쟁력이 있을 것을 분석되나, 실질적으로 운영시간을 고려한 보정시에는 SMR에 비해 가격 경쟁력은 약해질 것으로 분석됨

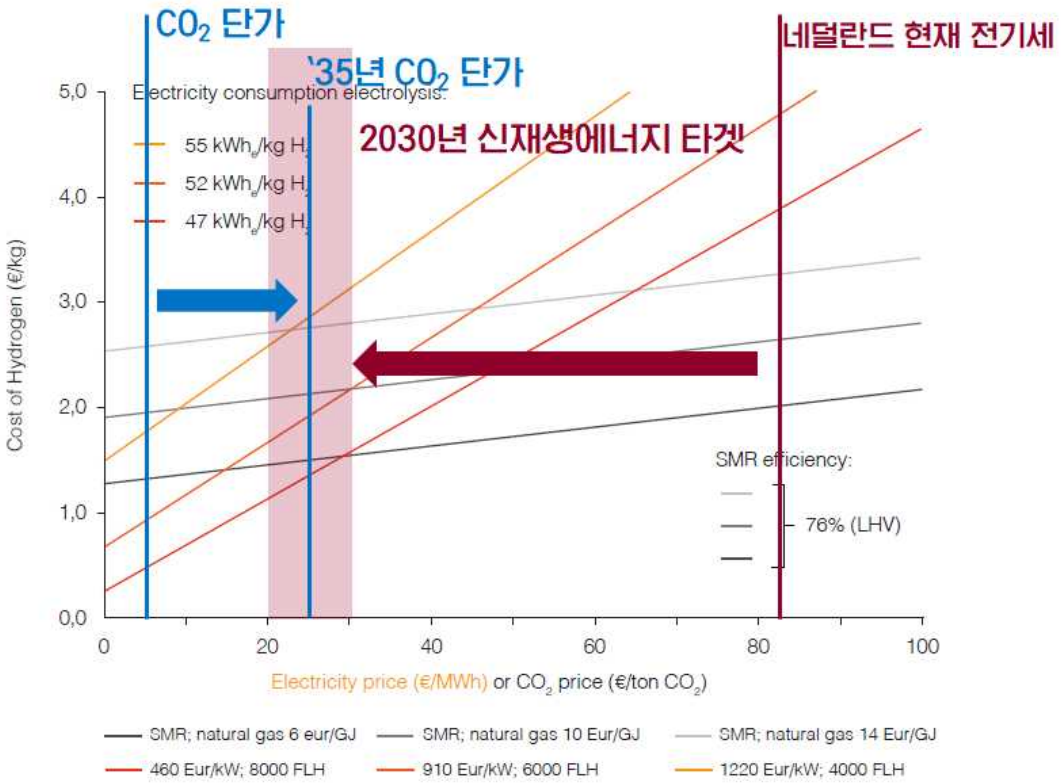


그림 4.31. 신재생에너지 현황과 이에 따른 수전해 수소 생산단가
(Hydrogen from Renewable Power, Technoloty Outlook from the Energy Transition, IRENA, 2018)

□ 국내 수소 생산단가의 분석

○ 국내에서 분석한 가장 대표적인 것은 수송용 수소연료가격의 분석을 위해 실시된 수소 융합얼라이언스 추진단의 분석내용임

- 수전해는 고려하지 않으며, 단순하게 현재 제조비용만을 고려할 경우 부생수소 혹은 석유화학의 부산물로서 납사 분해 수소의 유통가격을 고려하여 제시함.
- 조사된 생산 가격은 3,099 원/kg H_2로 제시하였으나, 이 단가는 전반적으로 납사 가격에 의존함을 명시함

- 단, 수소 융합얼라이언스는 충전소 운영을 목표로 제시한 것으로 생산 가격보다는 보조금 등에 초점을 맞춘 단가를 제시하고 있으며, 운송과 운영율에 의존하여 수소 공급단가가 결정된다는 것을 제시함
- 실제 수소충전소 운영율은 현재 충전기술로는 수소 차량 100 대 보급시 24시간 운영이 가능한 것으로 현재 1회 충전시 500 km 내외를 운영한다고 가정할 경우 10일-14일 운행이 가능하므로, 주유소 1개당 1400 대 이상이 보급되어야 함

그림 4.32. 수소 얼라이언스의 수소 충전소 판매가격 분석
(수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안, 수소융합얼라이언스, 2017)

○ 광주과학기술원에서 분석한 수소 충전소 단가 분석 보고서의 결과가 그림 4.33에 나타나 있음

- On-site, Off-site 기반으로 분석을 하되, 납사기반과 천연가스를 기준으로 분석하였음
- 중앙 집중형 수소 생산시, 납사 기반이 약 2,270원/kg (1.99 $/kg), 천연가스 기반이 2,720 원/kg (2.39 $/kg)으로 분석되었음

· 50,000 Nm^3/hr (약 560 ton H_2/d 기준)을 기준으로 분석하였으며, 원료가격에 각각 73, 77 %의 의존도가 있는 것으로 조사되었음

- On-site 기준으로 천연가스 기반의 생산 단가는 3,919 원/kg (3.44 $/kg)으로 분석되었음

· 300 Nm^3/hr (약 3.36 ton H_2/d 기준)을 기준으로 분석하였으며, 실제 판매 단가를 고려할 경우 on-site 형 수소 공급 단가가 저렴한 것으로 나타났음

표 3. SMR (Naphtha 및 Natural Gas) 기반 50,000 Nm^3/hr 수소 생산 판매 시 비용 및 가격 산출

	Naphtha 기반 수소 생산		Natural Gas 기반 수소 생산	
	연간 비용 (백만원/yr)	H_2 1 kg당 가격 (원/kg)	연간 비용 (백만원/yr)	H_2 1 kg당 비용 (원/kg)
Feedstock & Fuel	69,300	1,650	88,200	2,100
Maintenance	2,500	60	2,500	60
Labor	1,220	30	1,220	30
Power	1,446	30	1,446	30
Utility	3,360	80	3,360	80
G&A	1,000	20	1,000	20
SMR Capital Charge	16,700	400	16,700	400
SMR Total	95,526	2,270	114,426	2,720

표 9. SMR 100% 가동 시 생산된 수소 가격

SMR capacity (Nm^3/hr)	50	100	300
H2 from NG (원/kg)	2,108	2,108	2,108
Power (원/kg)	210	158	158
Fixed (원/kg)	1,190	893	496
G&A (원/kg)	1,190	893	496
Depreciation, 15 yr (원/kg)	1,587	1,190	661
Cost Total (원/kg)	6,287	5,242	3,919

그림 4.33. 광주과학기술원에서 분석한 수소 생산단가
(위: 중앙집중형 수소생산, 아래: 현장형 수소생산)
(홍성안, 국내 수소생산, 소비 및 유통현황에 대한 분석 연구, 광주과학기술원, 2018)

□ 요약 및 시사점

○ 현재 로드맵 상에서 제시된 각국의 생산단가의 범위는 **3,000~4,000 원/kg H_2 범위**에 있는 것으로 조사되고 있으며, 이는 수입단가 혹은 자국내 생산단가를 `30년 기준으로 목표로 하고 있는 상황임

○ 로드맵과 무관하게 세계 각국에서 분석된 가격은 일반적으로 수전해를 기준으로 하고 있으며, 이는 신재생에너지에 의한 전력비에 직접적으로 연계되는 것으로 분석하였음

- 현재 신재생에너지 단가중 가장 가격 경쟁력이 있는 국가 (미국, 멕시코, 칠레 기준) 를 기준으로 nel사는 SMR 가격과 비교한 그림 4.34에서 `20년 이후 충분히 수전해 기술이 가격 경쟁력이 있는 것으로 분석한 바 있음
- 이를 기준으로 현재 신재생에너지 단가는 0.02 $/kWh 수준이며, 특히 풍력을 적용할 경우 중동보다 가격 경쟁력이 더 높을 것으로 분석될 수 있음

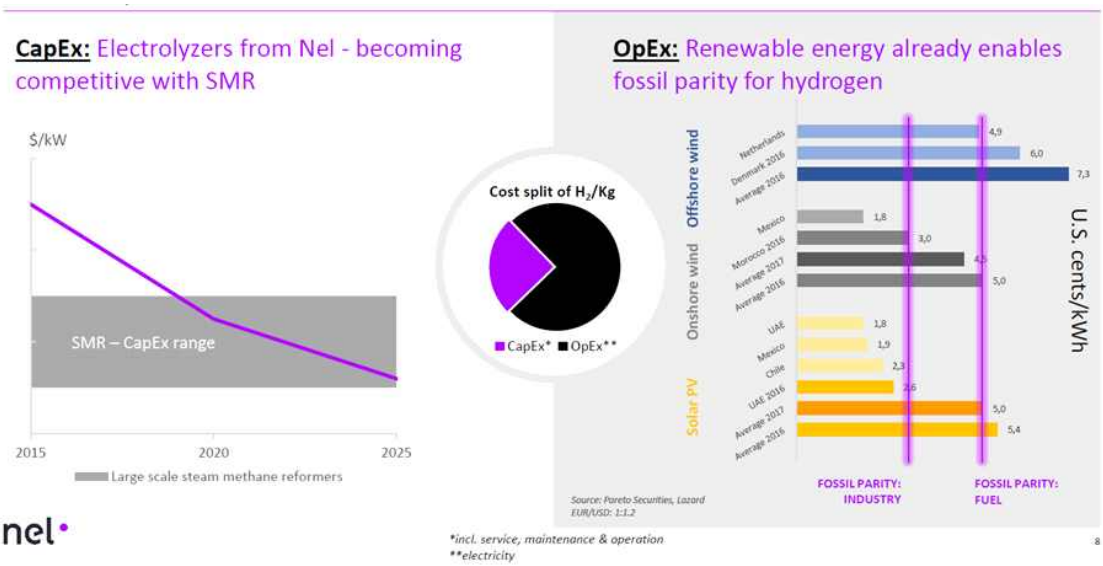


그림 4.34. nel 사에서 분석한 수전해 수소와 SMR 생산 수소의 경쟁력 비교

- 이를 기준으로 제시된 수소 생산단가 범위는 **1-2 $/kg H_2 범위**에 있었으며, 신재생에너지 단가가 0.02 $/kWh에서 수전해의 효율성은 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 분석함
- 따라서 그린 수소 생산만으로 한정지을 경우 수소 생산은 해외에서 생산된 가격에 큰 영향을 받을 것으로 사료됨

○ 국내 생산단가는 SMR 기준으로 약 2,270~3,919 원/kg H_2에 있었으며, `18년 기준 신재생에너지 단가 약 180원/kWh를 고려하면, 수전해에 의한 수소 생산은 10,000 원/kg H2 부근에서 형성될 것으로 사료되므로 국내 수소 생산은 SMR을 기준으로 해야 함

○ 따라서 국내 수소 생산 단가는 일본과 유사하게 필연적으로 해외 수입단가를 기준으로 평가를 하는 것이 타당함.

- 일본은 해외 수입 그린수소 단가를 3,637 원/kg H_2로 제시한 바 있음
- Shell사에서는 이와 유사하게 각각의 이송 방법론에 따라서 그림 4.35와 같이 최저 4.8 $/kg H_2 (5,472 원/kg H_2, 액화방식 이송)를 제시한 바 있음
- 가격구조에서 생산 단가는 2 $/kg H_2였으며, 액화저장 및 이송이 약 2.3 $/kg H_2, 다시 가스 상태로 만드는 비용이 약 0.5 $/kg H_2였음
- 그러므로 이를 기준으로 수소를 생산하지 못할 경우에는 해외에서 생산하는 것이 타당한 것으로 간주될 수 있음

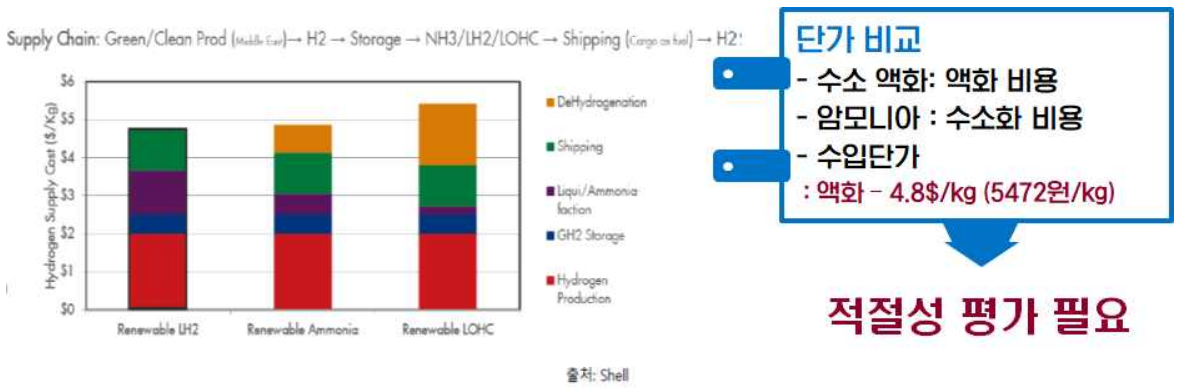


그림 4.35. Shell 사에서 제시한 수소 수입가격

○ 해외 생산시, 수소의 생산단가를 2,000 원/kg H_2를 위한 기술개발과 함께 2,000 원/kg H_2내외의 저장/이송 기술 개발이 필요하며, 이 경우 국내 SMR + CCS 기술에 의한 수소 생산과의 가격 경쟁력 확보가 가능할 것으로 예상됨

4. 본 기획을 위한 방향성

□ 국내 기술 수준에 따른 수소 시범도시를 위한 인프라 기술

- ㅇ 국내 기술수준으로 평가할 경우 각 시범도시 구축을 위해 적용할 수 있는 기술은 실질적으로 한정될 수 밖에 없음
  - 대부분의 기본 핵심 기술은 과기부와 산업부를 중심으로 기술개발 시작단계이며, 상용화된 것은 연료전지 분야와 수소 자동차 분야임
  - 이를 활용하기 위한 기본 핵심기술 중에서 수소 생산은 천연가스기반의 추출기술이 가장 근시일내 국산화가 될 것으로 예상되며, 저장 및 이송은 450 bar의 튜브트레일러 정도로 분석됨
  - 파이프라인은 산업단지와 울산 수소 타운에서 검증된 초 단거리 저압 수소 이송기술이 활용될 수 있음

- ㅇ 응용기술로는 중앙집중형 발전 혹은 중규모의 분산형 열병합 발전이 활발하나, 가정용 연료전지는 주민 수용성이 어려울 것으로 사료
  - 지자체 등의 의견은 주민수용성 확보가 어려움을 암시하고 있어, 실 사용자와 거리를 유격한 발전 설비에 초점이 맞추어져 있음
  - 국내 연료전지 발전이 이러한 중규모 이상에 특화되어 있으므로 이를 활용하는 것이 가장 최적의 대안이 될 수 있음
  - SOFC로 대변되는 최신 연료전지 기술은 가정용으로 직접 공급하는 것보다는 주민 수용성을 위해서 스마트팜 등을 대상으로 열과 전기를 공급하는 모델에서 우선적으로 검증하는 방향으로 추진한 이후 가정용을 진입하는 전략을 추진하는 것이 최적으로 판단

- ㅇ 수소 자동차는 일본에 비해 비교적 떨어지는 가격경쟁력 확보가 시급하며, 현재 선진국에서 수소 버스, 지게차 등의 공공성에 집중된 수소 교통 기술 개발 경쟁에 있으므로 이에 집중하여 기술 개발
  - 본 기획에서는 직접적인 수소 자동차 기술개발과는 무관하므로 이보다는 수소 충전 인프라 쪽에 집중
  - 350 bar 수소 충전소는 이미 국산화되었으나, 현재 표준화가 700 bar 충전소로 이동한 이상 이를 기준으로 집중

- 수소충전소의 국산화는 산업부를 중심으로 구성되고 있으므로, 이와는 별도로 급속충전 기술 쪽으로 초점을 맞추어 기술개발이 필요함

- 도심내 수소충전소 구축을 주민 수용성 확보가 불투명하므로, 국가 차원의 정책에 의존하며, 해외 관심 국가쪽으로 수소 시장 확대를 목표로 추진하는 방향으로 선회
- 핵심 타겟 국가로 해외 협력이 가능한 중동 지역을 우선으로 협력 모델을 개발하여 `19.02.27 추진한 수소 분야 UAE와 한국의 협력 MoU 체결의 후속 전략을 추진

그림 4.36. `19년 2월 27일 체결한 한-UAE 수소도시 분야 협력 MoU 체결

□ 선진국 간의 동맹체제 대응을 위한 Fast Walk 전략 추진

○ `19.06.15. 수소경제에 대한 주도권 확보 전략의 일환으로 일본이 미국, 유럽과 공동 수소경제 동맹 구축 추진 전략을 구성

- 일본 경제산업성, 미국 에너지부, EU 유럽위원회 에너지총국 대표는 이날 일본 나가노현 가루이자와에서 열린 주요 20개국(G20) 에너지환경장관회의에서 별도 회의를 열고 수소 에너지 기술 개발에 대한 공동선언을 발표
- 일본, 유럽, 미국은 수소와 연료전지의 기술개발을 가속화하기 위해 결속을 강

화하고 비용을 삭감해 이용 확대로 연결한다는 내용을 골자로 함

- (목표) 수소연료전지차(수소차)의 제품 규격, 수소 충전소 안전 기준 등에 대한 국제표준을 함께 만든다는 계획

그림 4.37. `19년 6월 15일 일본, 미국, 유럽의 공동선언

○ 다양한 의견이 있으나, 실질적으로 일본은 경쟁 국가로서 한국보다 한발 앞서 선진국 기술 동맹에 대해 추진했다는 의의가 있음

○ 한국과 UAE, 그리고 일본, 미국, 유럽의 동맹체제 구축은 주도권 싸움에 대한 것으로 해석되며, 기술적 분야에서 일본의 동맹에 한걸음 늦은 것으로 사료됨

○ (Fast Walk 전략) 미국, 유럽 등의 선진국에 비해 한걸음 빠른 기술적 실증 체제를 구축함으로써 기술의 표준화를 선점하는 전략을 추진

- 가장 공통적인 분야로서 주거와 수소교통에 대한 실증전략을 추진하여 기술표준화를 위한 발판 구축
- 별도의 모델에 대한 추진전략을 단/장기적으로 구축함으로써 국내기술의 세계화를 추진
- 본 기획을 통해서 `19.02.27 체결된 한-UAE의 수소 도시 분야 협력 MoU 후속조치와 전략 달성을 위해 `19.06.16 현지 기관과 협력방안을 위한 회의를 실시하고 그 결과에 대해 MoM 사인 추진함

Minutes of Meeting for Hydrogen City

(June 16, 2019)

Participants: Alexander Ritschel (Head of Technology, Masdar, UAE)
Seungkwan Hong (Professor, Korea University)
Laurie Alazet (Services Business Developer, ENGIE, France)
Younes Aljalam (Business Control Accounts, ENGIE, France)

1. Korea's KAIA and UAE's Masdar agree to carry out the following tasks as a follow-up to the UAE cooperation MoU in the filed of hydrogen cities signed on February 27, 2019.

2. Both parties promote in-depth discussion on hydrogen city research projects that can be carried out between the two countries with the goal of starting the project in 2020.

3. As such a discussion, the meeting with ENGIE, the international energy solution provider based in France, was held today to examine the future of hydrogen technology in the Middle East critically and extensively. It was emphasized that the best place to demonstrate the hydrogen transport city (e.g., hydrogen bus system) is the one between Abu Dhabi and Dubai in UAE, considering not only the most economically feasible solar power supply but also other factors including political stability, commercial potentials, and technical innovations in competition with electrical bus transport systems which exhibit the limitations under harsh conditions (e.g., high temperature).

4. The future research to facilitate the hydrogen transport city includes the demonstration of hydrogen bus systems with hydrogen supply stations, the development of water electrolysis technology with the solar power for hydrogen supply in the hydrogen station, and other core technology developments, including maritime transportation of hydrogen integrated with hydrogen society in the UAE.

5. The KAIA will review the requirements for technology development and demonstration projects, while the Masdar will examine the necessary matters such as infrastructure, human resources, legal and institutional supports, possibly by initiating collaboration cooperation with the relevant organizations, if the project is funded.

Name: Alexander Ritschel
Title: Head, Technology
Date: July 11, 2019

Name: Seungkwan Hong
Title: Professor
Date: July 12, 2019

그림 4.38. `19년 6월 고려대학교와 마스다르간의 수소 도시 과제 협력 MoM

□ 국내 기술 수준에 따른 수소 실증도시 가능 모델과 기술의 조합

○ 국내 기술수준으로 평가할 경우 각 실증도시 구축을 위해 적용할 수 있는 기술은 그림 4.39에 나타난 바와 같이 몇몇의 조합에 의해 구성될 수 있음

○ 크게 구분되어 4개의 수소 실증도시 모델이 도출될 수 있으며, 각 기술의 조함은 단기와 장기로 구분되어 제시될 수 있음

○ 그림 4.39은 각 모델별 기술과 기술 개발 keyword를 나타내고 있으며, 해당 기술들은 각각의 부처별 진행 혹은 진행되어야 할 내용들임

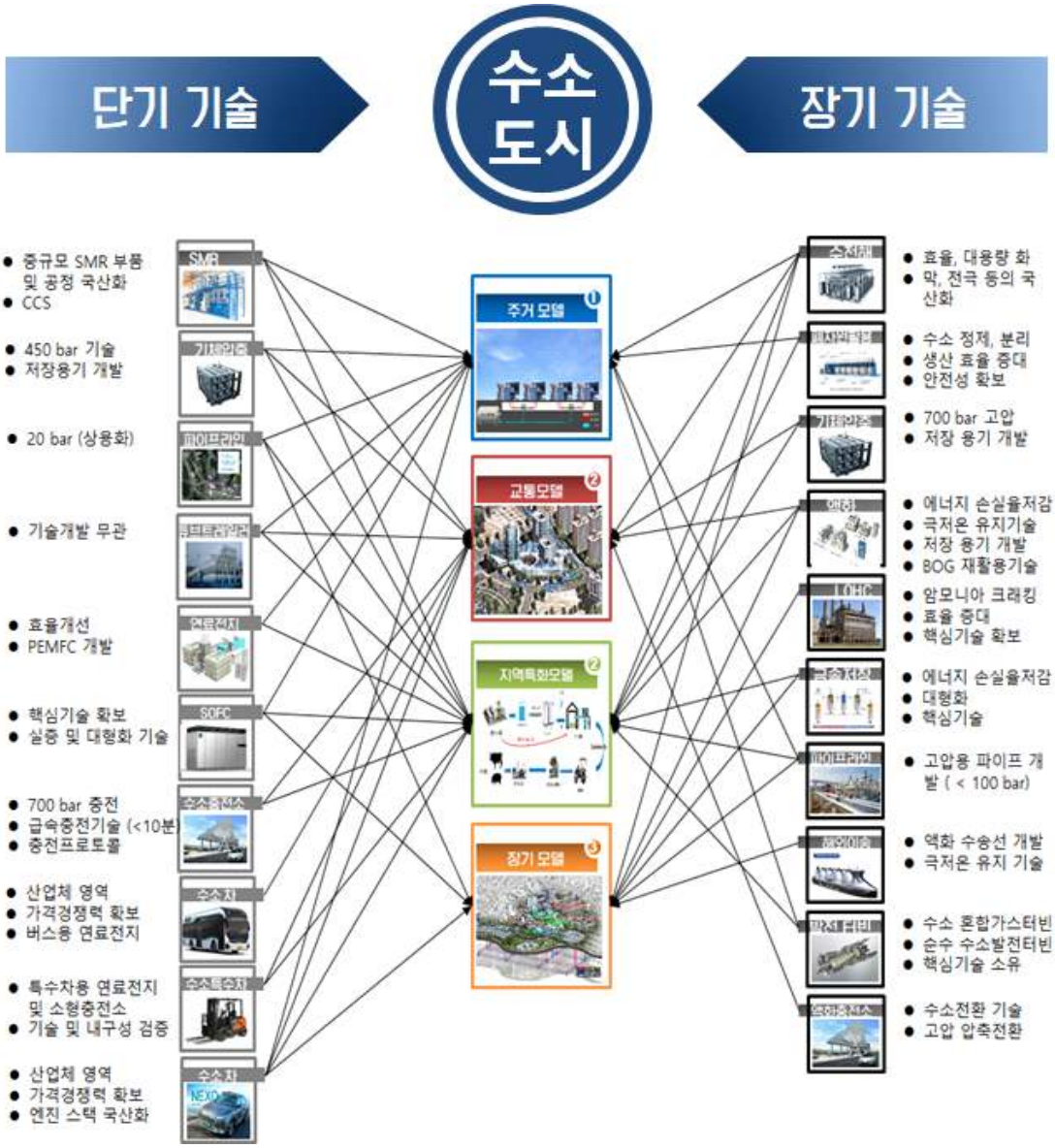


그림 4.39. 수소도시 모델과 각 기술의 조합

제 3절 수소도시 모델 도출

1. 수소 도시 모델

□ 각 도시모델은 세부적인 모델로 4개의 큰 시범도시 카테고리로 구분됨

○ 가장 기본적인 모델로 수소 도시내 주거, 교통, 지역 특화 모델이 있으며, 향후 대도시 발전 모델로서 장기 모델로 구분됨

○ (주거모델) 일반적으로 수소 도시 내에 단독주택과 혹은 공동주택 등을 대상으로 전력과 열을 수소에너지를 통해서 공급하는 모델을 개발

– (단독주택) 수소 에너지를 통한 열과 전기를 공급하는 기본 모델과 태양광을 활용한 신재생에너지를 활용한 수소 생산공정과 연료전지의 시스템화, 그리고 수소자동차를 활용한 전력 공급 시스템 등을 활용하여 주택내 플러스 에너지 목표 달성을 위해 개발.

· 그림 4.40처럼 단독 주택 1개 혹은 여러 채의 주택내 공급하는 분산형 열병합 발전 모델 등으로 구분히 가능함

– (공동주택) 단독주택 모델과 유사한 상황이나, 수소 공급량이 과다하게 요구되는 사항으로 도시가스 배관 활용 모델, 분산형 열병합 발전 모델로 1개동 대상 및 단지 대상등으로 구분될 수 있음

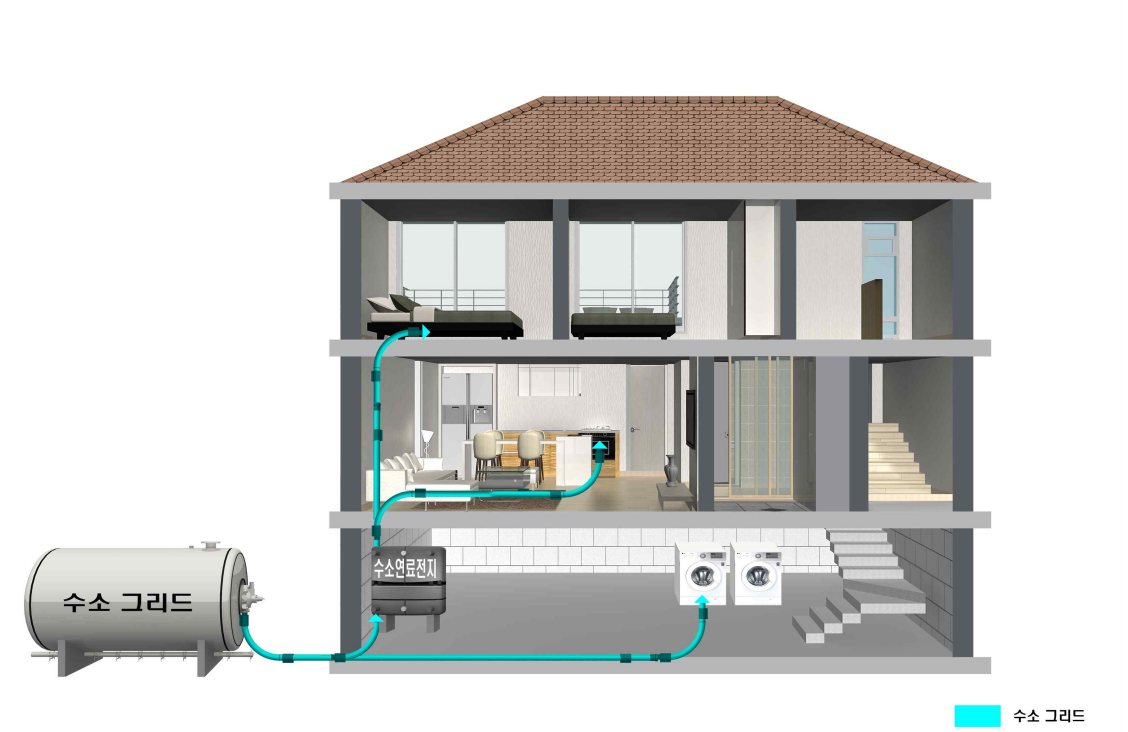
· 단독 주택과는 달리 태양광 활용 혹은 수소 자동차를 활용한 비상 전력 공급 시스템 등의 활용이 불가능한 모델

· 그림 4.41은 공동주택에 적용할 수 있는 다양한 모델을 보여주고 있음

○ (교통모델) 가장 기본적인 수소자동차 관련 인프라 모델을 의미하며, 크게 수소 주유소, 복합환승센터, 버스 차고지 모델 등이 있을 수 있으며, 전반적으로 각각의 인프라는 유사한 컨셉을 나타냄

– (일반 모델) 일반적으로 수소 자동차를 대상으로 구축된 충전소를 의미하며, 주유소내 LPG 충전 혹은 일반 주유소 등과 복합적으로 설치가 가능한 모델

– (복합환승센터 모델) 도시내 설치된 복합환승센터 모델을 의미하며, 수소버스와 자동차 등이 활용할 수 있는 모델을 의미함



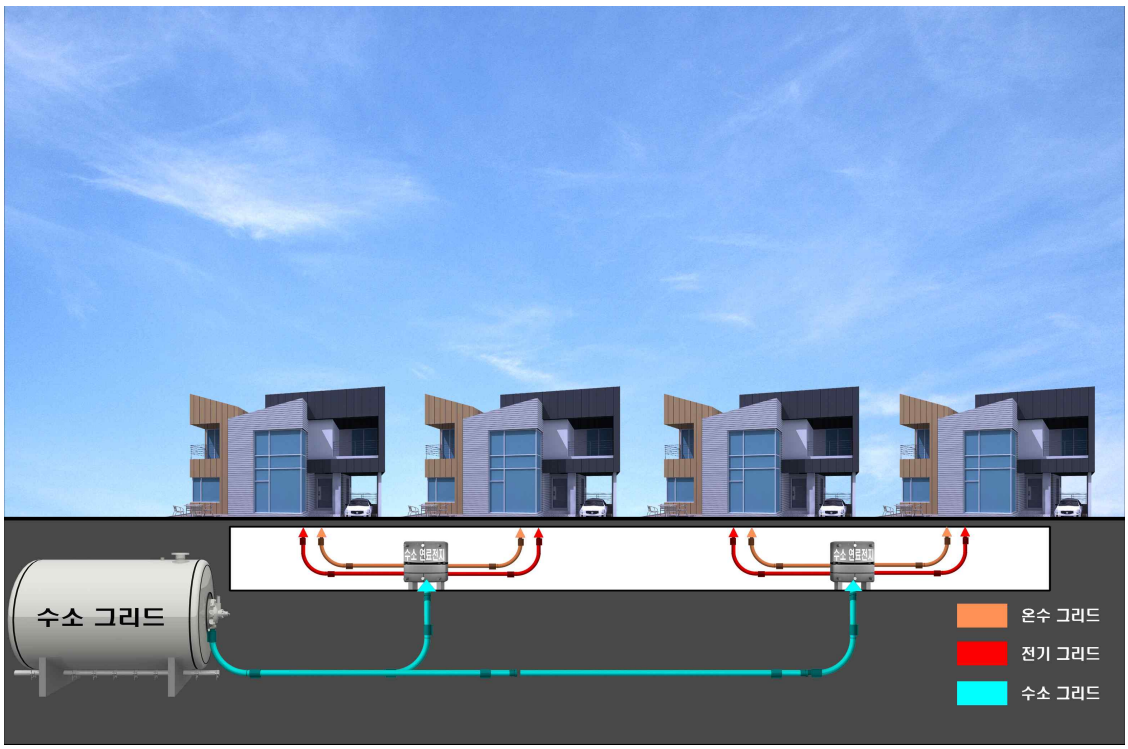


그림 4.40. 수소도시내 단독주택형 모델

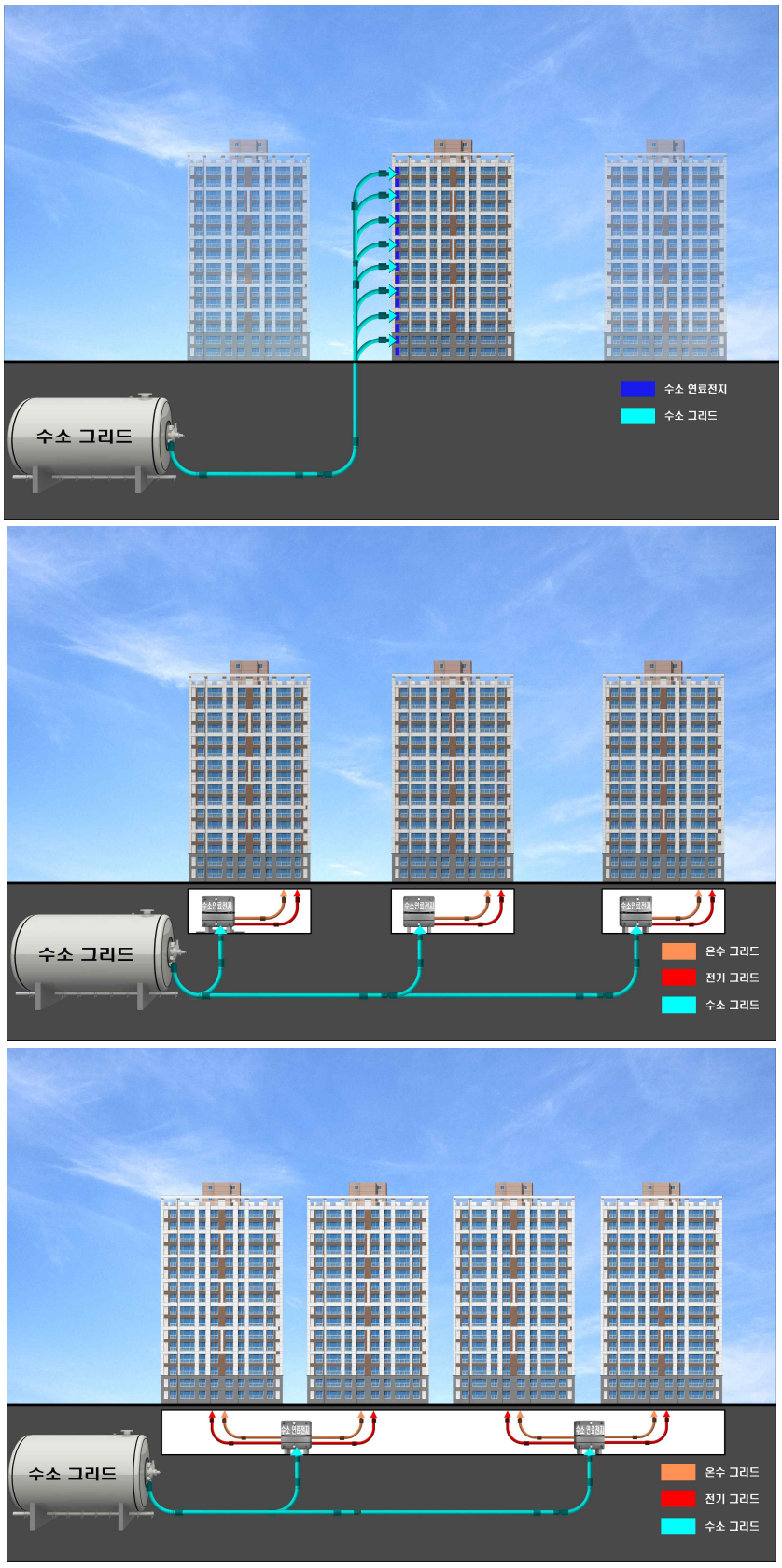


그림 4.41. 수소도시내 공동주택형 모델

그림 4.42. 수소도시내 수소 충전소 모델

○ (지역특화모델) 지역별로 특성을 반영한 수소도시 구축모델을 의미하며, 요약정리할 경우 7개의 모델로 구분될 수 있음. 이러한 모델들은 수소 커뮤니티 단위로 구성되며, 향후 다양한 모델이 조합되어서 수소 타운이 될 수 있음

- (공통 모델) 전반적으로 모든 지역에 공통 모델로 주거와 교통 모델이 있으나구축시 수소 공급의 인프라에 따른 수소 생산, 공급 기술로 구분될 수 있음
- (지역 특화 모델) 각각의 지역별로 친환경 스마트 팜, 해양 도시모델, 대용량 수소 생산 특화도시 모델 (신재생에너지와 SMR 기술), 관광모델 등으로 구분될 수 있음
- (친환경 모델) 지역의 스마트 팜, 농축산 모델 등으로 구분될 수 있으며, 그림 4.43과 같이 축산 분뇨의 혐기성 소화 등에 의한 바이오가스 추출로 인하여 수소를 공급하는 선순환 구조의 모델
  · (수소 생산) 일반적인 천연가스 추출을 통해 수소를 생산하고 생산된 CO_2는 농장내 공급을 통해 식물 성장에 활용
  · 축산 분뇨 기반의 천연가스를 활용한 SMR을 통해 수소를 생산
  · (수소 공급) 지역내 파이프라인 구축을 통한 수소 공급체계 구축
  · (수소 활용) 연료전지를 활용한 열과 전기를 스마트 팜내 공급함으로써 친환경 모델을 완성하거나, 소형스테이션을 통해 농촌에 활용되는 경운기, 트랙터 혹은 지게차 등의 연료공급으로서 활용

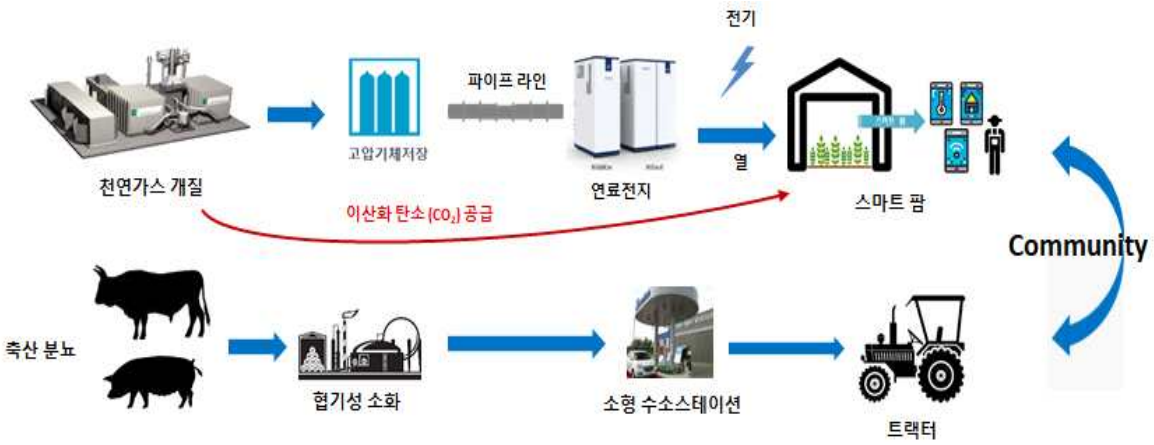


그림 4.43. 친환경 수소 커뮤니티 모델의 예

- (해양 모델) 지역의 어선 등을 대상으로 수소 공급 시스템을 구축하고, 어촌계내 냉동창고, 지게차, 화물차 등을 대상으로 수소를 활용하는 모델을 구축함.

· (수소 생산) 수상 태양광 설비를 활용하여 수전해 설비를 활용한 그린 수소 생산과 천연가스 추출을 통한 수소 생산 체계를 구축
· (수소 공급) 지역내 파이프라인 구축을 통한 수소 공급체계 구축과 금속수화물 등의 선박용 소형 충전 모델을 구축
· (수소 저장 및 활용) 지역내 냉동 창고에 활용되는 냉매를 활용하는 액화저장을 활용하여 냉동창고내 재순환할 수 있는 시스템을 구축
· (수소 활용) 어선 등의 연료전지 엔진 및 연료로서 공급으로 수소 체계 구축과 건어물 혹은 냉동창고 등을 대상으로 활용

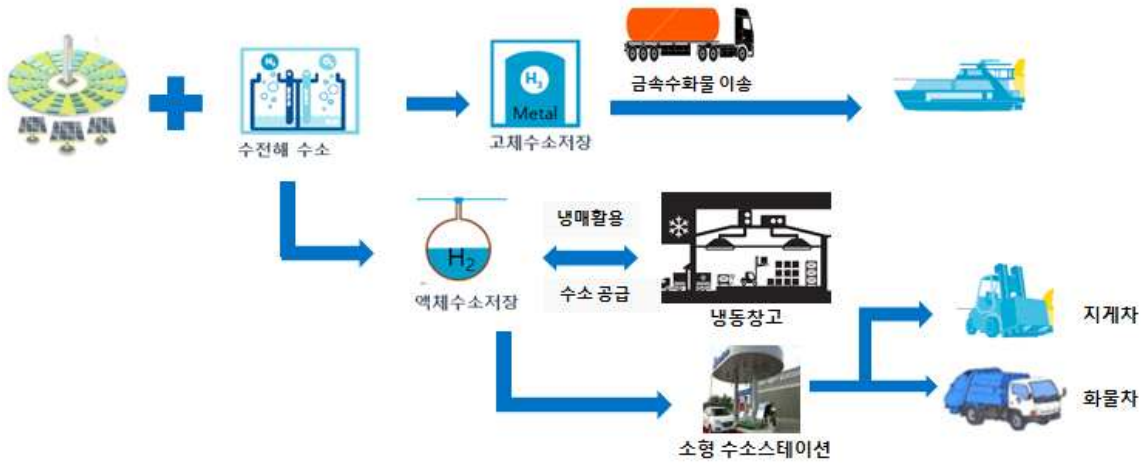


그림 4.44. 해양도시 수소 커뮤니티 모델의 예

– (수소 생산기지 모델) 제철소 혹은 LNG 기지와 연계하여 전국 수소 도시와 연계가 가능하도록 구축되는 수소 생산기지 모델로 유사한 컨셉으로 산업부를 통해 대용량 SMR 개발이 진행중에 있음
· (수소 생산) 부생수소 생산 확대 혹은 대용량 SMR 기술을 통한 대량의 수소 생산. 이를 위해서 CCS 기술과의 조합 연구를 통한 시스템 개발이 필요
· (수소 공급) 근거리 파이프라인 구축을 통한 수소 공급체계 구축과 장거리 가스 압축 이송 방식으로 공급
· (수소 활용) 부생수소를 활용한 수소 스테이션과 주변 주거지를 대상으로 연료전지 발전을 위해 활용. 대용량 추출 방식을 통해서 생산된 수소는 장거리 공급망을 통해서 부변 도시로 이송이후 주유소 혹은 발전용으로 공급

그림 4.45. 부생수소 및 수소 생산 기지 모델의 예

- (그린수소 생산기지 모델) 국내 신재생에너지 단지내 수전해 기술 도입을 통하여 그린 수소를 생산하고 주변 도시로 공급하는 체계를 구축
  · (수소 생산) 신재생에너지 단지 내 수전해 설비 구축을 통한 그린 수소 생산 (풍력 + 수전해 혹은 태양광 + 수전해)
  · (대상지) 새만금 신재생에너지 단지 태양광 4 GW (`22년), 해상풍력 1 GW (`26년), 월령신재생 단지 풍력 150 kW, 당진 태양광 80 MW (`19년)
  · (수소 공급) 근거리 파이프라인 구축을 통한 수소 공급체계 구축과 장거리 가스 압축 이송 방식으로 공급
  · (수소 활용) 연료전지 발전 혹은 수소 교통용으로 공급하되, 비교적 적은 규모로 생산할 수 밖에 없기 때문에 수소 교통 중 공공 버스 등에 적용하는 것이 타당

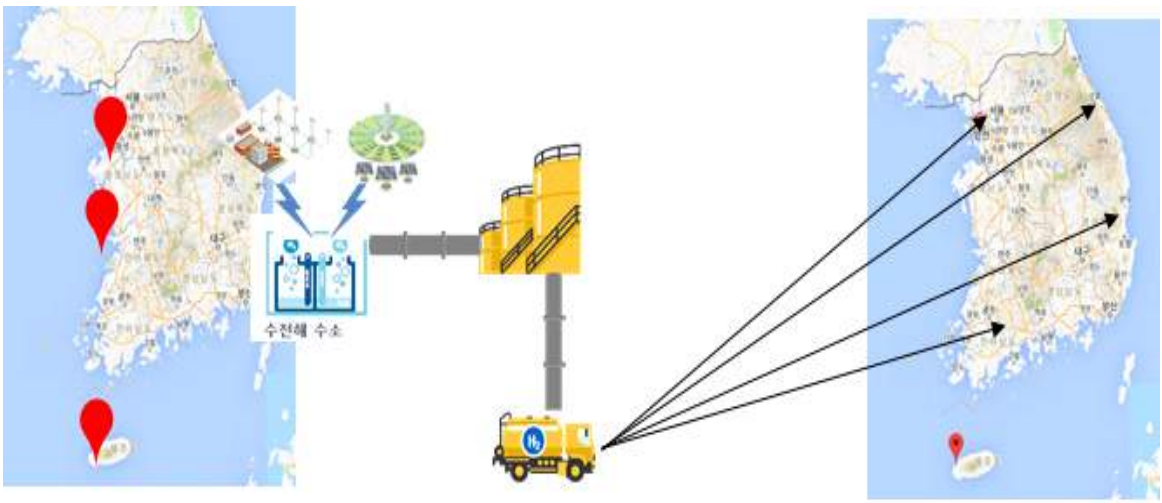


그림 4.46. 신재생에너지 시범단지 및 그린수소 생산의 예

○ (장기모델) 장기적으로 구축되어야 할 모델로서 해외 생산이 필수적이므로 이에 대한 기술적 개발과 함께 구축되어야 하며, 이후 물류모델과 대형 도시내 수소 에너지 활용량 관리를 위한 ICT 모델을 추진

– (해외 생산) 국내 수전해 기술과 중동지역의 신재생에너지와의 시스템화 및 공동 기술개발을 통해 경제적인 수소 생산 모델을 제시

· (수소 생산) 생산단가 3,000 원/kg H_2 이하를 목표로 중동지역의 태양광에너지를 활용한 그린수소 생산 모델 제시

· (수소 생산 2) 동남아 국가와의 연구 공조를 통해서 암모니아의 생산 및 이송 방안 추진. 단 이 경우 경제적인 크래킹 기술개발을 통해 수소 가격 경쟁력 확보가 필연

· (수소 저장) 장기적인 관점에서 수소 생산이후 국내 이송을 위해서는 액화기술이 필수적임. 따라서 현지 생산이후 액화를 통한 수소 이송수단의 개발이 요구됨. 단 현재 암모니아 이송은 현재도 상업화된 상태이므로 바로 추진이 가능함

· (수소 이송) 액화 수송선에 대한 개발이 필수이며, 이를 통해서 중동에서 한국까지 이송

– (물류도시) 국내 해외 생산 수소의 공급기지로서 추진함. 전체적인 국내 도시로의 수소 이송을 주요 골자로 추진되며, 액화 저장 기지를 위한 기술로 구성

· (수소 저장) 액화 기반의 저장시설 구축과 암모니아 크랙킹 기술 기반의 수소 압축저상 설비

· (수소 이송) 액화이송 트럭 및 기체화 이후 파이프라인 이송을 기반으로 구성

· (수소 활용) 액화수소 충전소내 공급과 대용량 발전설비 및 가정용 연료전지내 수소 공급

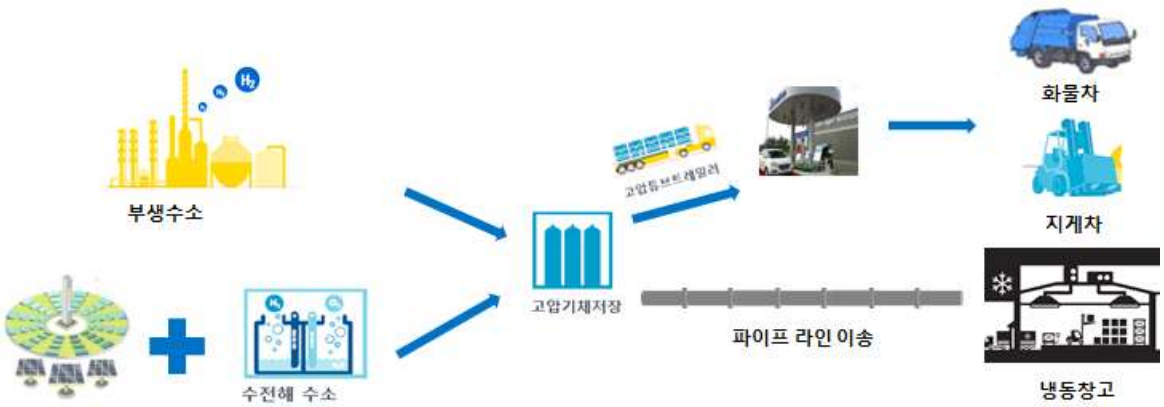


그림 4.47. 물류도시의 예

□ 단기적 수소실증 도시모델의 타당성 및 구성

○ 모든 수소도시 실증 추진에 있어 기본적인 모델은 주거와 교통임

- 국내를 포함한 전세계 모든 수소 경제 구축의 핵심은 수소 교통을 위한 인프라 구축과 주거용 에너지를 수소로 대체하는 전략임
- 전체 큰 맥락에서 수소 경제를 위해 검증되어야할 실증 도시는 그림 4.48와 같이 도시내 주거, 교통, 수소의 공급 역할 도시, 각 지역별 특화로 구분됨
- 대표적인 주거 모델과 교통모델을 실증함으로 인하여 장기적으로 최종모델로 가기 위한 다양한 기술적 R&D를 통해 기반을 구축하는 전략을 추진

○ 단기 주거와 교통 모델 검증 인프라

- (공급체계) 단기적으로 수소 공급은 부생수소와 SMR을 통해서 공급하는 방식이 가장 적절하며, 공급 인프라에 대한 기술적 검증을 추진
- (활용체계) 기본적으로 수소의 활용은 연료전지를 통해서 이루어지므로, 발전을 통한 전력과 열의 활용 분야를 검증하고, 교통 모델에서 수소 충전소의 활성화를 추진

○ 장기적 수소도시 모델 도출을 위한 전략적 기술 개발

- (그린수소 생산 체계) 기본적으로 수소는 CO2 free를 추구하고 있으므로, 장기적으로는 신재생에너지와 수전해모델의 조합 시스템으로 추진하는 것이 타당
  · 장기적으로 그린수소 시스템 구축을 위해서는 현 국내 기술 수준을 선진국과 경쟁이 가능한 수준까지 개발할 필요가 있음
  · 해외 협력 모델을 통해 장기적으로 선진국과의 기술 협력 전략은 에너지 다변화와 수소도시내 안정적인 수소 수급을 위하여 반드시 필요한 전략임
  · 국내에서 신재생에너지 활용이 어려운 환경을 극복하고 기술적 경험을 축적하기 위한 전략적 방향성임
- (물류도시 인프라용 기본 기술) 해외와의 기술협력 그리고 수소 수급을 위해서는 반드시 액화기술 및 이송기술이 필요함. 따라서 액화기술에 대한 기본 기술 확보전략을 추진
  · 현재 진행되는 액화 기술개발 연구단의 기술적 성과 도입전략 추진과 해외 기술 벤치마킹을 동시에 추진
  · 액화에 대한 핵심 기술을 확보하기 위한 별도의 전략을 추진

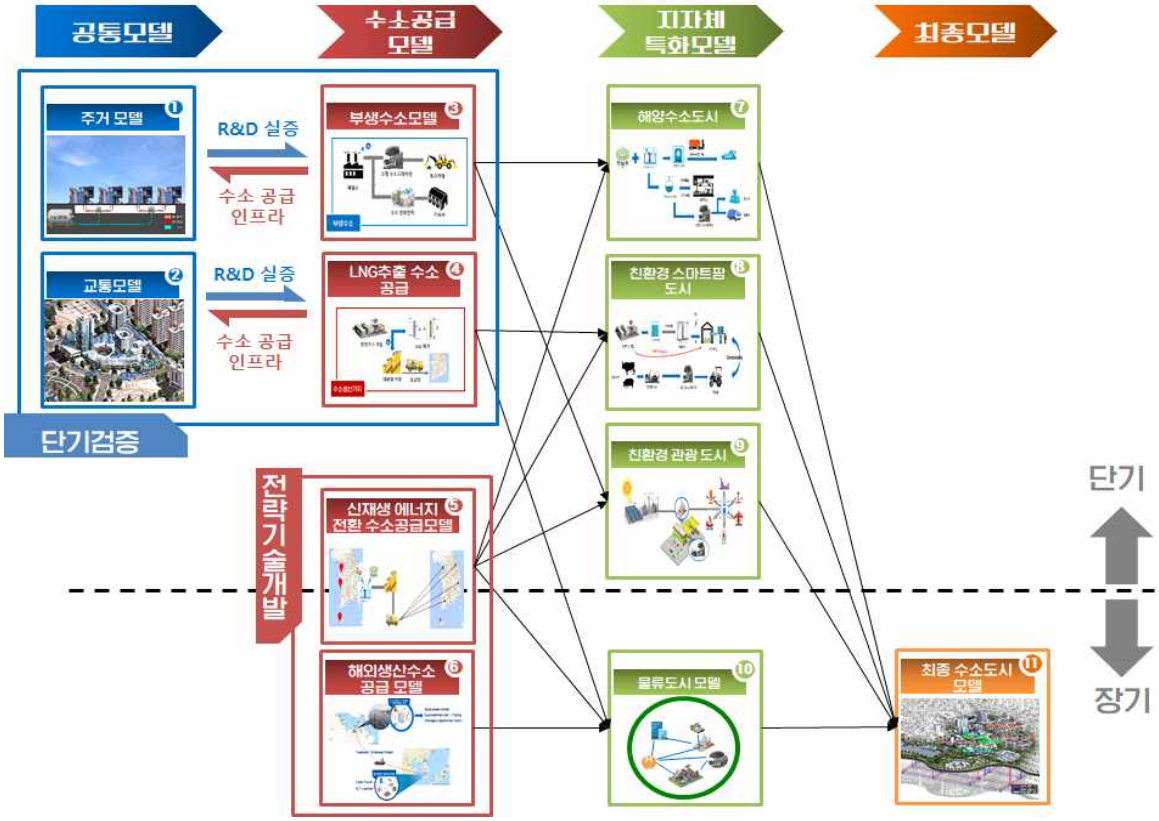


그림 4.48. 각 도시모델 별 벨류체인과 장단기적 기술개발 전략

2. 수소도시 모델 별 추진 방향성

□ 모델 별 기술 수요 조사 결과

요 약

○ (수소 모델의 우선 순위) 대다수의 전문가에 의한 수요조사 결과는 총 3개의 그룹으로 구분될 수 있음

- (1그룹) 수소 생산 모델로서 대용량 생산기지와 신재생에너지 전환 그린수소 생산 기지 그리고 교통모델이 가장 단기적 모델로 응답
- (2그룹) 물류에 의한 공급체계 구축과 주거모델이 중기적 모델로 제안됨
- (3그룹) 나머지 지역 특화 모델은 단기적인 것보다는 국내 수소경제를 위한 기반 인프라 구축 이후로 응답

○ (생산기술) 모든 모델에서 SMR에 의한 수소 생산과 부생수소가 최우선적으로 인식되었으며, 모델에 따라서 수전해 기술에 의한 수소 생산이 제안

ㅇ (저장기술) 모든 모델에서 가장 상업화된 기술로 고압압축저장 기술이 최우선 순위였으며, 경우에 따라서 액화, 금속저장 등이 차순위로 조사됨

ㅇ (이송기술) 고압압축저장에 따른 튜브트레일러와 파이프라인에 의한 수소 그리드 구축이 가장 필요한 이송기술로 조사됨

ㅇ (활용기술) 수소의 활용은 크게 교통의 수소충전소, 연료전지 등으로 구분되며, 각 모델에 따른 에너지와 열의 적용 방식별로 구분될 수 있음

ㅇ 수소 도시 모델에 따른 우선 순위

- 총 8개의 도출 모델을 대상으로 가장 필요한 순위에 대하여 전문가 조사를 실시하였으며, 그 결과를 그림 4.49에 나타내었음
- 가장 필요한 도시 모델은 수소 공급을 위한 부생수소 혹은 대용량 수소 생산기지 모델로 전체 응답자의 50%가 가장 시급하게 구축해야 하는 모델로 응답함. 향후 대량의 수소 공급을 위한 전략적 기지로서 구축의 시급성을 나타낸 것으로 해석될 수 있음. 20%의 응답자는 수소 교통의 구축이 필요하다고 응답함
- 기술적으로 검증을 할 수 있는 인프라 구축은 교통모델로서, 응답자의 30%가 시급한 도시 모델로 나타냄. 국내 기술로서 세계적인 경쟁 수순임을 감안할 경우 수소 경제 활성화 및 확대를 위해서 시급한 모델로 해석될 수 있음. 다음으로 신재생에너지 전환 수소 생산기지가 25%로 높은 순위를 나타냄
- 3번째로 구축이 필요한 순위는 물류모델로 약 35% 다음으로 교통 모델이 20%,, 주거모델이 15% 순으로 조사되었으며, 4순위 모델로서도 물류 교통 주거 순으로 나타났음.
- 주거모델은 5순위에서 30%가 필요하다고 응답하여 예측한 결과에 비해 전문가의 의견은 낮은 순위를 기록함. 이러한 결과는 주민 수용성에 대한 긍정적인 결과 도출이 어렵기 때문인 것으로 사료됨
- 주어진 결과는 크게 3개의 그룹으로 구분될 수 있음. 대용량 수소 생산 도시 모델, 신재생에너지 전환 수소 생산도시 등의 수소 수급을 위해 전략적으로 요구되는 모델과 활용 측면에서 수소 교통 모델이 가장 먼저 추진되어야할 첫 번째 그룹으로 분류되며, 다음으로 주거와 물류 모델, 마지막으로 수급 방안과 도시를 대상으로 인프라가 구축된 이후 지역 특화 모델이 구축되어야 하는 세 번째 그룹으로 분류될 수 있음

・수소생산 모델과 교통모델: 2순위까지 전체 응답자의 50% 이상이 필요성을 제시

· 물류와 주거모델: 2순위까지 응답자의 20% 내외만 필요성을 제시하였으며, 4순위까지 주거는 약 45% 그러나 물류는 80%가 필요성을 제시하여 주거 모델에 비해 상대적으로 물류모델이 중요한 것으로 인식. 주거는 5순위까지 75%를 제시하여 상대적으로 필요성이 덜한 것으로 조사됨

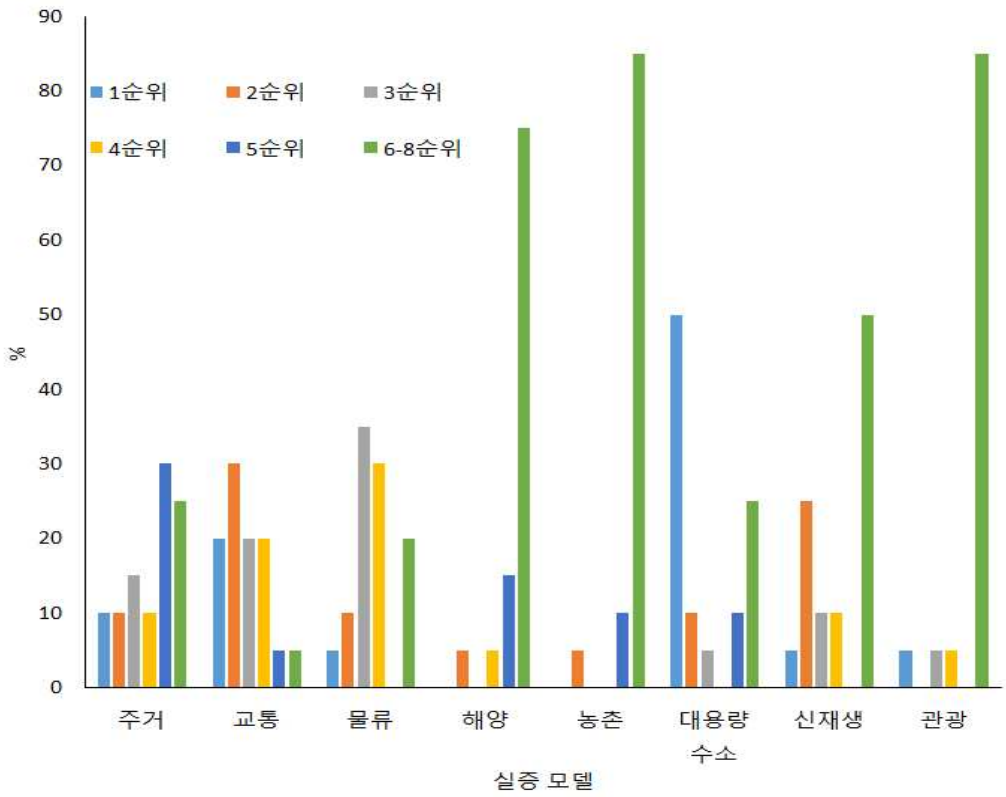


그림 4.49. 각 도시모델 별 필요순우에 대한 전문가 응답 결과

○ 각 모델 구축에 있어 가장 필요한 기술 순위

– 주거 모델

· (수소생산기술) 전문가 중 50%가 추출 수소에 의한 수소생산이 적절할 것으로 평가하였으며, 수전해, 바이오수소 추출, 부생 수소 사용 등이 주거모델에 활용될 수 있는 것으로 응답함

· (수소저장기술) 전문가 중 50%가 고압압축 수소 저장 기술이 필요한 것으로 응답하였으며, 금속저장이 31%, 액화저장이 13% 등으로 조사됨

· (수소이송기술) 수소 그리드에 의한 수소 공급이 69%, 튜브트레일러가 13%로 응답하였으며, 기본적으로 배관안전설계, 압력용기 안전성 확보등을 주문함

· (수소활용기술) 응답자이 65%가 연료전지와의 활용성으로 답하였으며, 나머지는 소수의 의견을 피력함
· (요약) 주거모델을 위해서는 SMR에 의한 수소 생산과 수소 그리드를 통한 이송 그리고 각 가정 단위 혹은 구역단위의 연료전지 발전에 의한 에너지 공급 형태의 성과물 도출이 타당한 것으로 분석됨

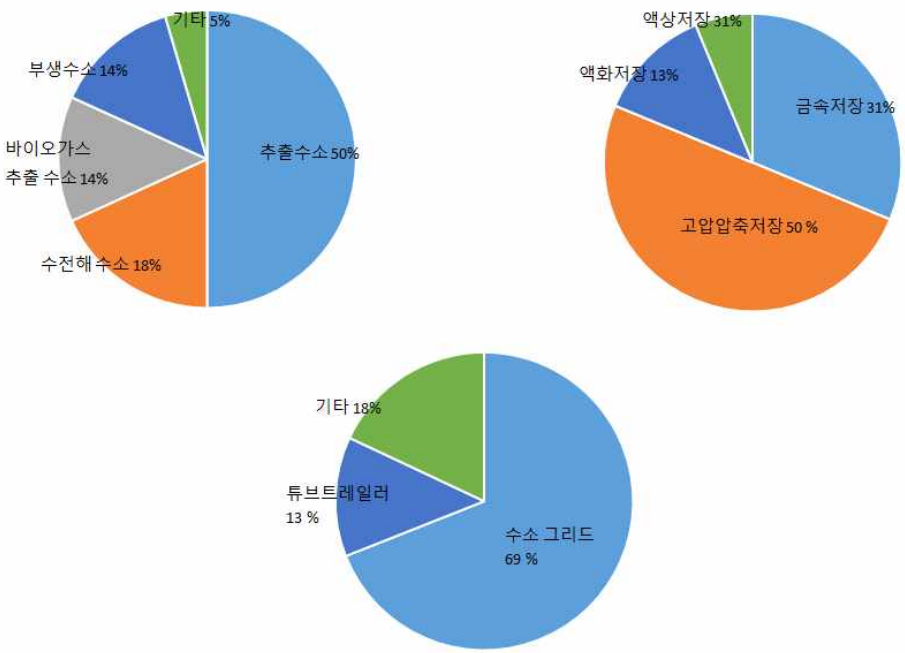


그림 4.50. 주거모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

– 교통 모델

· (수소생산기술) 복합 수소충전소 운영을 대상으로 현장 SMR 기술에 의한 수소 생산이 58%, 부생수소 활용이 21%, 수전해 수소 생산이 16%로 조사되었으며, 기타 의견으로 액화 모듈화를 제안한 경우도 있었음
· (수소저장기술) 고압압축저장이 55%, 액화저장이 23%로 주된 저장 기술로 인식되었으며, 기타로 액상 및 지하 저장 등이 제안되었음
· (수소이송기술) 기체 압축저장 기술이 대부분이므로 이에 따라 튜브트레일러를 활용한 이송이 37%, 현장 생산을 위한 수소 그리드 이송이 37%, 액화트레일러가 19% 등으로 조사되어 대부분의 응답자는 튜브트레일러와 수소 그리드가 충전소내 적절한 수소 공급 방식으로 응답하였음
· (수소활용기술) 응답자 대다수가 복합수소 충전소를 구축해야 하는 것으로 제안하였음

· (요약) 수소 충전소를 대상으로 수소 생산은 부생수소, SMR에 의한 현장 생산이 메인 되며, 이를 위해서 튜브트레일러와 수소 그리드 구축이 필요함. 일반적으로 수소자동차 충전은 기체 수소이므로 압축 저장 기술이 요구되며, 차고지내 수소 충전소 건축에 대한 의견이 제시됨

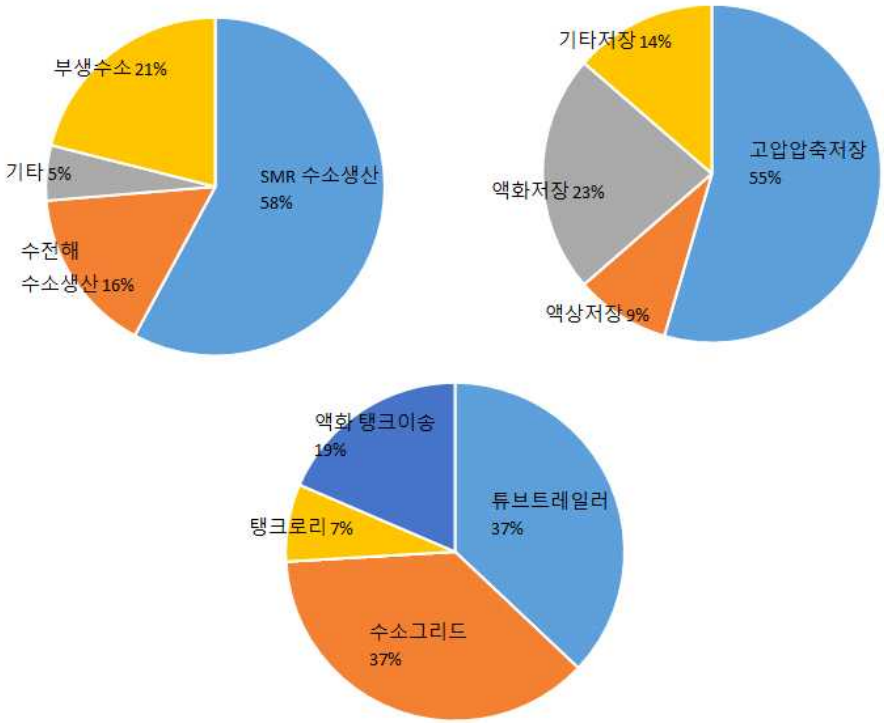


그림 4.51. 교통 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

– 물류 모델

· (수소생산기술) 물류는 수소 생산에 초점을 맞춘다기 보다는 수입 혹은 해외 수소 생산에 초점이 있으므로 액화 및 액상 저장 수소의 가스화 기술에 대한 제안이 20% 였으며, SMR+CCS 기술이 33%, 수전해가 20%로 조사되었음. 기타로 암모니아 크래킹, 석탄 가스화 기술, 부생수소 활용 등이 제시됨

· (수소저장기술) 해외 생산되 수소의 저장을 위해 필요한 기술로 액화/액상 저장이 55%로 조사되었으며, 고압압축저장이 25%, 수소 벙커링 기술이 10%로 조사되었음.

· (수소이송기술) 이송 방식으로는 수소 그리드 구축을 통한 공급이 39%, 튜브트레일러 22%, 수소선박 13%, 액화 트레일러 13%로 물류 모델이라는 특성상 이송 기술은 다양하게 조사된 것으로 분석됨

· (수소활용기술) 물류도시 특성은 각 수요처에 대한 공급 목적이 있으므로, 자체 활용보다는 수요처에 초점을 맞추어 제안되었으나, 수소항만 인프라, 수소고속도로 등이 구축되어야 하는 것으로 제안됨
· (요약) 수요처에 대한 공급을 목적으로 다양한 저장 방식과 이송방식이 요구되며, 이에 따른 인프라 구축이 필요한 것으로 요약될 수 있음

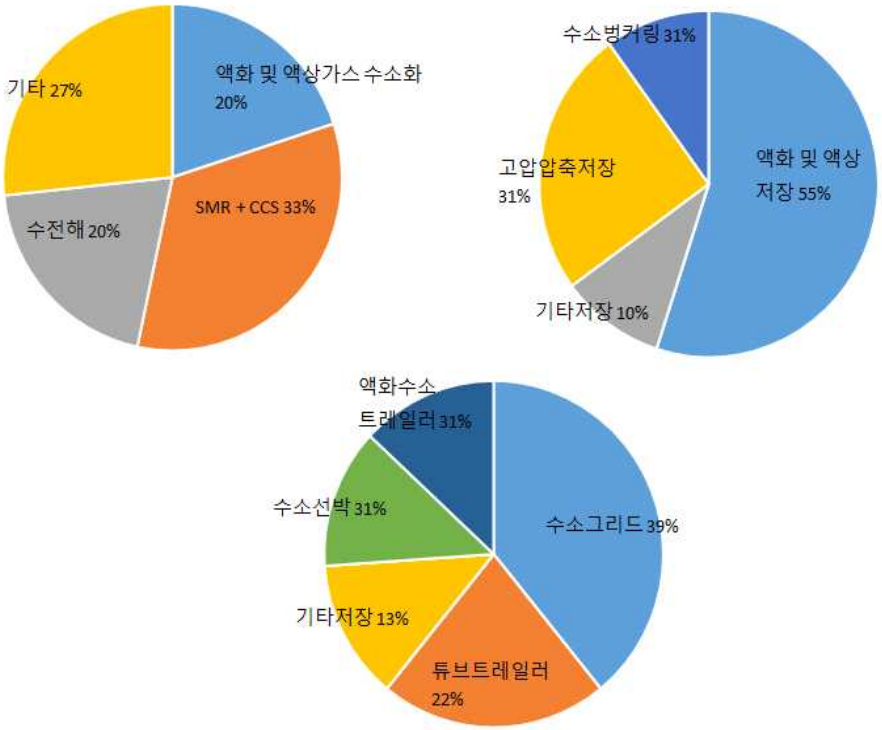


그림 4.52. 물류 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

– 해양 도시 모델

· (수소생산기술) 해양을 중심으로 구성되는 도시 모델로 응답자의 58%가 수전해를 통한 수소 생산이 필요한 것으로 제안하였으며, SMR 수소 생산 25%, 부생수소 혹은 해외 수입수소 등의 기타가 17%로 나타남
· (수소저장기술) 고압압축저장 기술이 36%, 금속저장이 21%로 현재 잠수함 등에서 활용되고 있기 때문에 금속저장 방식에 대한 요구가 다른 모델에 비해 높게 조사됨. 또한 액화와 액상 저장이 36%로 조사되었음
· (수소이송기술) 이송 방식으로는 튜브트레일러 42%, 수소 그리드 33%로 조사되었으며, 기타로 LOHC 탱크로리 이송, 수소 선박 이송 등이 제안되었음

· (수소활용기술) 수소 선박내 연료공급, 해양 도시내 냉동창고의 운영기술 등이 높게 조사되었으며, 액화드론을 활용한 해양 쓰레기 감시 기술, 무인잠수정 충전 등이 기타 안건으로 제시되었음

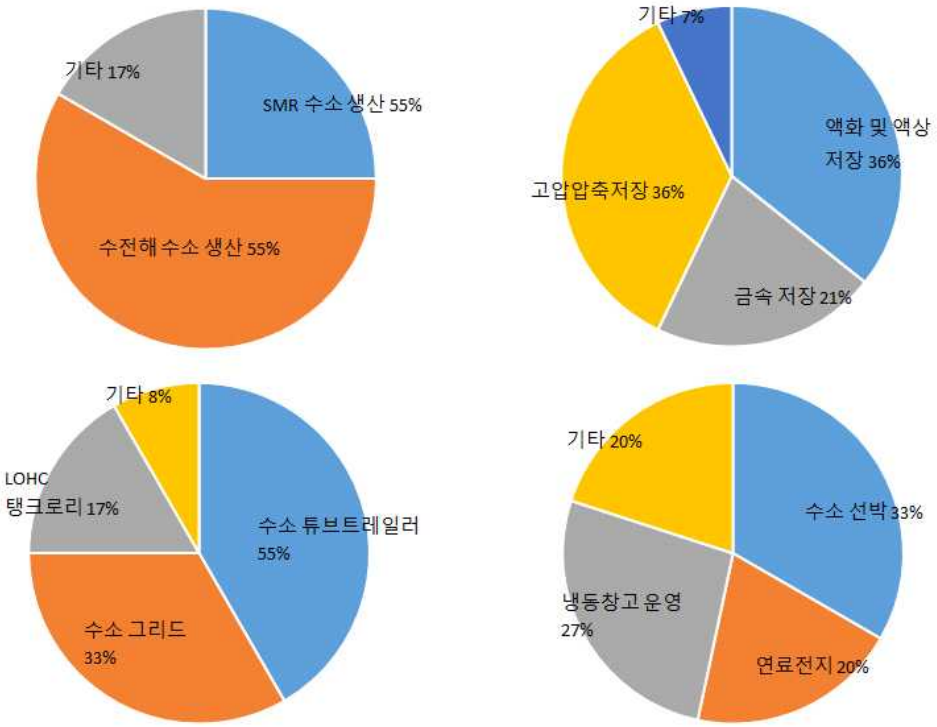


그림 4.53. 해양 도시 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

– 친환경 스마트팜 모델

· (수소생산기술) 타 모델과 달리 농촌지역에서 주로 생산될 수 있는 바이오 가스 기반의 추출 수소 공급 방안이 핵심 수소 생산 방식으로 응답하였으며, 친환경으로서의 이미지로 인하여 수전해 모델을 주로 제시함

· (수소저장기술) 저장기술로는 현재 안정성이 확보되어 있는 고압 압축저장이 54%, 금속저장이 31%로 조사되어 소규모 저장에 대한 요구도가 높았음

· (수소이송기술) 고압압축저장 방식에 따라서 튜브트레일러가 이송방식으로 가장 높게 제안되었으며, 수소 그리드가 38%로 친환경 스마트 팜내 단거리 그리드 구축에 대해 요청이 많았음

· (수소활용기술) 스마트 팜내 연료전지 적용에 대한 전략이 54%로 가장 많은 제안이었으며, 액화드론을 통한 농약 살포 등이 특화기술로 손꼽힐 수 있는 기술로 제안되었음

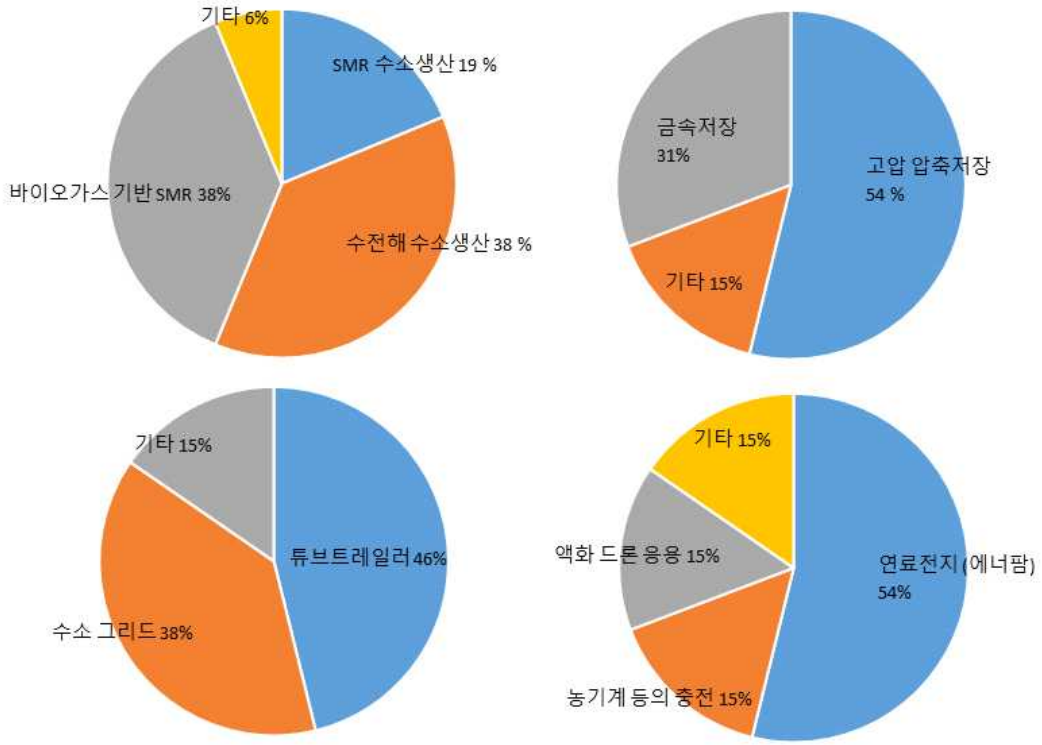


그림 4.54. 친환경 스마트팜 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

– 대용량 수소 생산기지 모델

· (수소생산기술) 국내 수소 경제를 대상으로 수소를 생산하여 공급할 수 있는 헤드쿼터로서의 역할을 위한 모델로 대용량 수소 생산을 위해서는 천연가스로부터 추출하는 수소가 54%로 가장 대표적으로 제안되었음. 다음으로 부생수소를 활용하는 방안이 39% 였으며, 석탄가스화 등이 기타의 생산기술로 조사되었음

· (수소저장기술) 전국적인 보급을 위한 저장 기술로 고압압축저장 43%, 액화저장이 29%, 액상저장이 14% 등 생산 공급기지 역할에 적합하도록 타 모델에 비해 다양한 저장 모델이 제안되었음

· (수소이송기술) 튜브트레일러 36%, 수소그리드 구축 45%로 전국 공급을 위한 대표적인 수단으로 제안되었으며, 액화 혹은 액상 저장 수소의 이송방식이 기타로 조사되어, 현 단계에서 실질적인 수소의 공급방식은 튜브트레일러와 수소 파이프가 대표적인 것으로 조사됨

· (수소활용기술) 공급 혹은 생산 기지로서 역할로 인하여 실질적인 활용은 크게 조사되지 못하였으며, 내부 특수차량용 수소 충전소 등이 대표 기술로 조사되었음

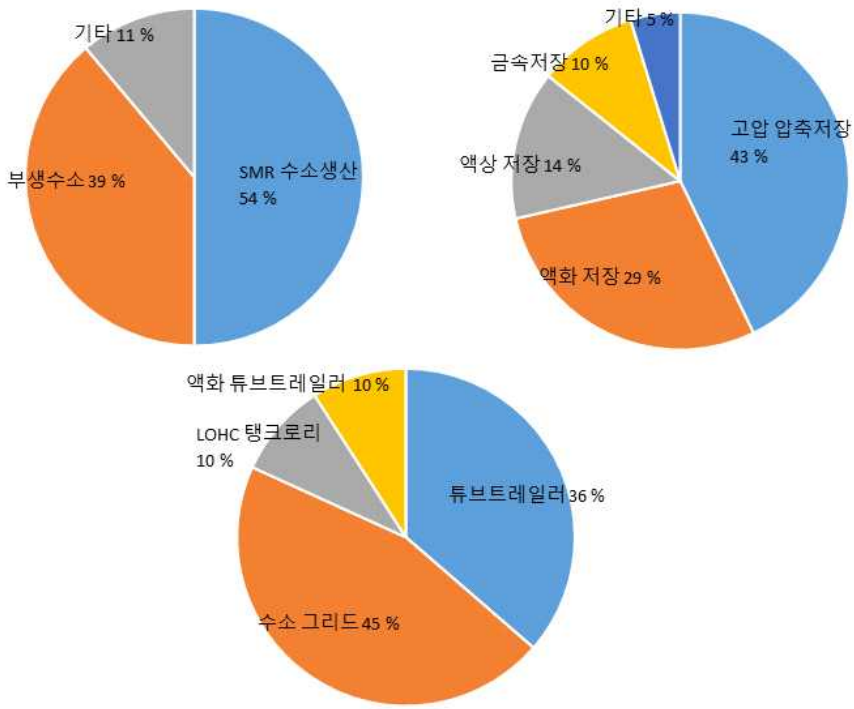


그림 4.55. 대용량 생산기지 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

- 신재생에너지 전환 그린수소 생산 모델

· (수소생산기술) 신재생에너지의 전환으로 활용할 수 있는 기술은 수전해 기술이므로 대부분 응답자의 생산모델로서 제안되었음

· (수소저장기술) 대용량 생산기지 모델과 유사하게 고압압축저장 42%, 액화저장 21%, 액상저장 26% 등 다양한 저장기술이 제안되었으며, 기타로 지하저장 방법 등이 제안되었음

· (수소이송기술) 튜브트레일러 38%, 수소그리드 구축 31%로 전국 공급을 위한 대표적인 수단으로 제안되었으며, 액상 저장 수소의 이송방식 23% 등으로 주요 기술로 조사되었으며, 액화기술은 기타 기술로 제안되어, 대용량 생산기지와 마찬가지로 튜브트레일러와 수소 파이프가 대표적인 이송기술로 제안되었으며, 전문가 들에게 인식되고 있는 것으로 분석됨

- 관광단지 모델

· (수소생산기술) 전문가들의 관심도가 가장 낮은 모델이었음. 생산기술로는 관광단지로서 신재생에너지와 수전해 기술의 결합에 의한 수소 생산이 54%, SMR에 의한 수소 생산이 23%, 기타로, 폐기물, 바이오가스, 부생수소 등의 활용이 제안되었음

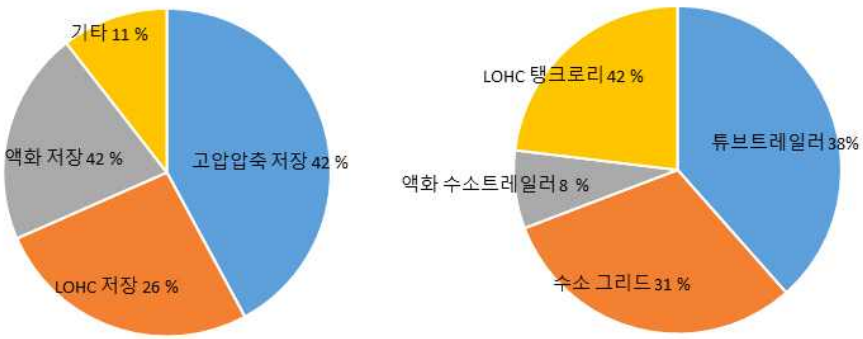


그림 4.56. 신재생에너지 전환 그린수소 생산 기지 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

- (수소저장기술) 고압압축기술에 의한 저장이 44%, 금속저장이 25%, 액화저장이 19%, 액상저장이 13% 등 고른 분포를 나타내었으나, 그래도 고압압축저장 방식이 가장 많은 의견으로 도출됨
- (수소이송기술) 수소 그리드에 의한 관광단지내 수소 공급이 47%로 가장 많은 의견이었으며, 튜브트레일러 40%로 대부분의 모델에서와 유사하게 조사되었음
- (수소활용기술) 활용이라는 측면으로 볼 경우 관광단지는 소형 범위내로 공급하기 때문에 연료전지를 활용한 관광지내 전력 공급, 수소 차량 이용을 위한 공공교통용 인프라 구축으로 구분되에 제안되었음

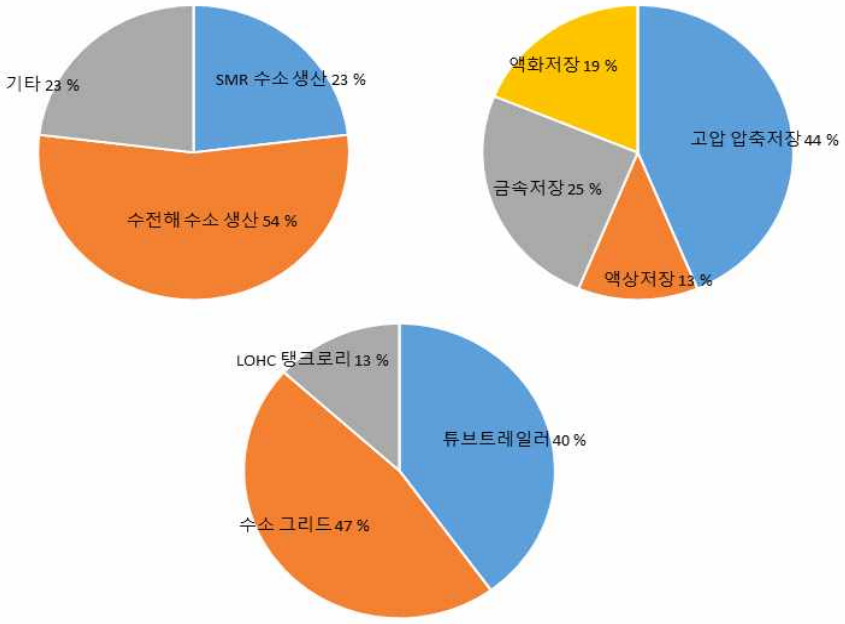


그림 4.57. 관광 단지 모델에서 필요한 기술에 대한 조사 결과

□ 모델 구축을 위한 수소 공급 목표 및 국내 기술 수준에 대한 전문가 응답

요 약

○ (장·단기적 수소 공급 목표) 단기적인 수소 공급 목표는 10 % 이내가 65%의 비율로 가장 우세한 답변이었으며 장기적인 수소공급 목표로는 30～50% 가 50%의 응답 비율로 조사되었음

- 단기적인 목표로서 낮은 비율에 대한 사유로는 현 국내 기술로서 수소 공급 체계에 대한 인프라 구축 비율이 낮기 때문인 것으로 사료됨
- 장기적인 목표에 대해서는 인프라 구축이 현재부터 시작되고, 해외 수입 혹은 해외 생산 등에 의한 경제성 확보가 된 상황을 가정할 수 있으므로 높은 공급 목표로서 조사된 것으로 분석됨

○ (수소 공급 목표를 위한 생산기술 및 수소 수입국가) 단기적인 수소 생산기술은 SMR에 의한 추출수소, 장기적인 수소 생산기술은 수전해와 수입 수소로 조사되었으며, 수입을 위한 국가는 호주와 중동지역을 선호하는 것으로 조사됨

- 단기적 활용 가능 기술은 현 국내 산업에서도 사용되고 있으며, 기술개발이 진행되고 있는 SMR기술이며, 장기적 활용기술은 수소경제 체계의 궁극적인 목적인 탄소저감 등을 고려하여 수전해 기술로 나타난 것으로 분석될 수 있음
- 수소 수입국가로는 일본에서 모델로 제시한 호주이며, 호주의 수소 생산 및 수출에 대한 전략을 고려할 때 당연한 것으로 분석될 수 있음. 중동은 수소 생산에 대한 전략이 없으므로 순수 수입이 아닌 중동의 태양광을 활용한 해외 생산이 타당한 것으로 해석될 수 있음

○ (생산기술의 국내기술수준) 기술별로 전문가 의견이 달랐지만, SMR 기술은 현재도 사용이 가능한 단계로 유일하게 상용단계에 대한 의견이 나왔으며, 다른 기술은 핵심기술단계로 인식되고 있음

○ (저장기술의 국내수준) 고압 압축저장이 유일하게 상용화된 것을 현단계 활용이 가능하며, 다른 기술들은 원천기술확보 단계로 인식되고 있음

○ (이송기술의 국내 수준) 튜브트레일러와 파이프라인이 상용화가 가능한 단계로 조사되었으며, 다른 기술은 원천 혹은 핵심 기술 확보 단계로 조사됨

○ (활용기술의 국내 수준) 수소 충전소, 수소 자동차, 발전용 연료전지가 상용화 단계로 조사되었으며, 수소 터빈은 원천기술, 타 분야는 실증단계로 응답하였음. 따라서 다른 기본 인프라 기술에 비해 국내 기술 수준은 활용분야에 있어 강점을 가지고 있는 것으로 이식되고 있는 것으로 분석됨

○ 장·단기 수소 공급 목표

- 단기적 수소 목표는 목표연도를 `22년을 대상으로 조사하였으며, 전문가의 65%가 수소 도시내 수소에너지 대체율이 10% 이하의 목표가 적절할 것으로 응답하였음.
- 이 결과는 도시별로 조금씩 의견 차이가 있었는데, 현 수소 인프라가 구축된 지역은 수소 도시내 50% 이상의 공급도 가능한 것으로 대답함
- 대부분의 지자체의 인프라 구축정도에 따라서 크게 달라질 것으로 사료되며, 이는 본기획에서 추가로 조사가 필요한 것으로 사료됨
- 장기적 수소 공급 목표에 대해서는 30~50% 이내 목표가 적절한 것으로 전문가의 50%가 의견으로 제시하였음. 그리고 10~30%의 에너지량을 수소로 공급하는 것이 적절하다는 의견이 25% 였음. 70% 이상의 수소를 공급하는 것이 적절하다는 의견도 15%로 조사되어, 전문가별로 의견이 다양한 것으로 조사됨
- 장기적 수소 공급 목표는 국내 수소 공급량과는 구별이 되어야 하는 것으로 도시가 구축되었을 때, 내부 수소 공급량을 의미하는 것으로 이해해야 함
- 단기적인 수소 공급은 실질적으로 수소 생산 및 공급체계가 명확하지 않은 현 상태에서 목표로 하였으므로, 수소 교통위주의 수소 공급량을 목표로 하고 있는 것으로 분석되며, 장기적인 수소 공급은 다양한 수소 공급 인프라가 구축된 상황하에 도시 에너지 대체율을 의미하므로 높은 목표치로 응답한 것으로 사료됨

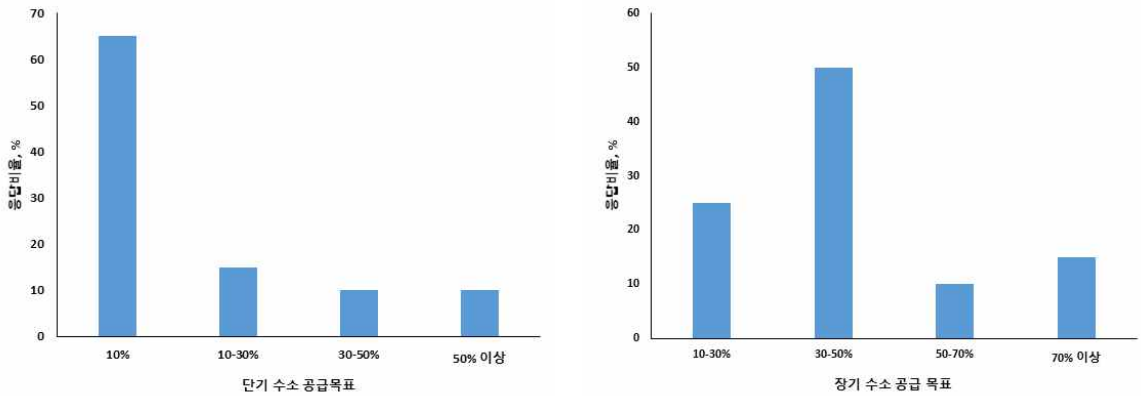


그림 4.58. 장·단기 수소 공급 목표 설문 조사

○ 장·단기 수소 공급을 위한 생산 기술

- 단기적 수소 공급을 위해 국내에서 적용 가능한 기술은 SMR을 이용한 가스 추출 방식으로 대다수의 전문가 (75%)가 응답을 함. 실질적으로 국내에서 유일하게 적용되고 있는 기술이며, 국산화를 위한 연구개발이 진행중에 있음
- 단기적 수소 공급 기술 중 다음은 수입수소였으며, 이러한 결과는 타 디술이 아직 상요화 수준에 미치지 못함을 간접적으로 알려주는 지표임
- 장기적인 수소 공급 기술은 수전해 기술이 가장 높은 응답 (44%)으로 조사되었으며, 수소 경제가 대두되는 이유를 고려할 경우 당연하다고 할 수 있음. 수입수소는 28%로 다음 순위였으며, 이는 국내에서 신재생에너지 활용이 극히 제한적임을 고려할 때 필연적으로 고려되어야 하는 수소 공급 방법으로 인식될 수 있음
- 장·단기적으로 수소 수입 국가는 전문가 대답이 호주와 중동으로 양분되었음. 이는 일본의 수소 수입정책과 맞물려서 고려된 것으로 판단됨. 기타 의견으로 동남아 수입은 수소라기 보다는 암모니아 수입으로 이해될 수 있으며, 수입후 암모니아 크래킹 기술에 의한 수소 공급으로 분석됨

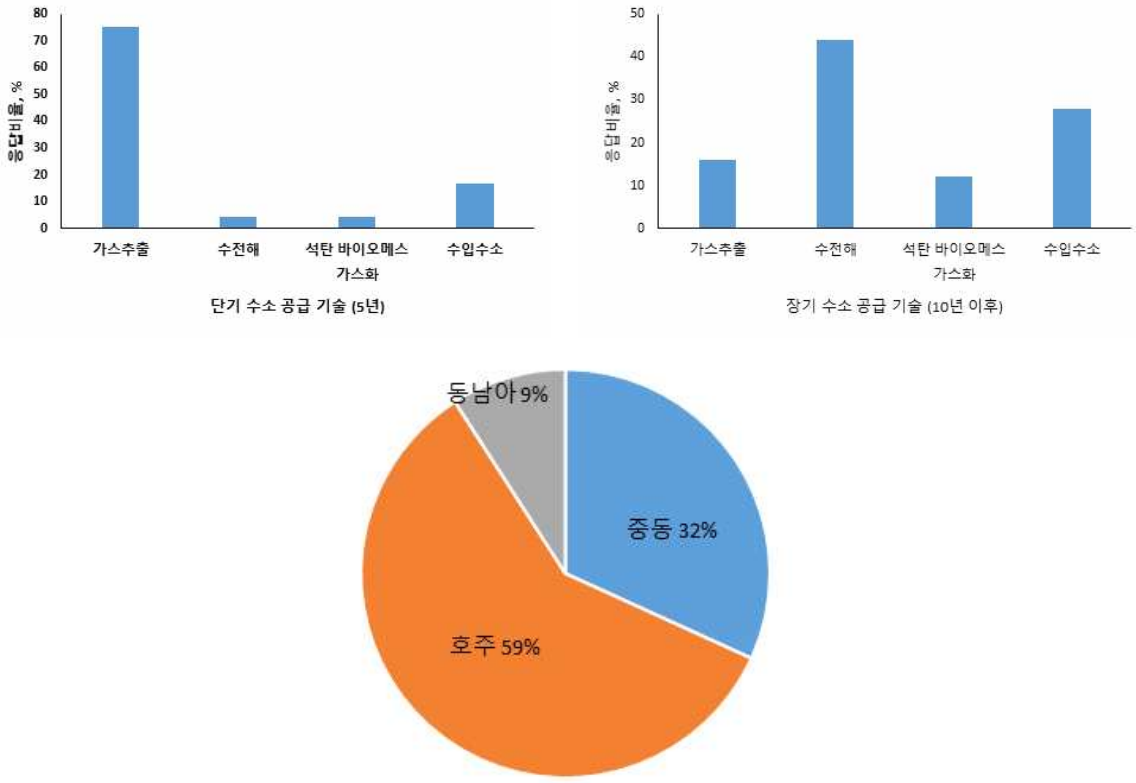


그림 4.59. 장·단기 수소 공급 및 수소 수입 국가에 대한 목표 설문 조사

○ 각 기술별 기술 수준

- (생산기술) 총 3가지 기술, 추출 수소 생산 기술, 수전해 기술, 석탄/바이오메스 추출 수소 생산 기술에 대한 기술 수준에 대해 문의한 결과임

· (추출 수소 생산기술) 핵심, 실증, 상용 수준에 대하여 고른 분포를 가지고 있으며, 이는 규모에 따라서 구분될 수 있는 것으로 사료됨. 즉 해외의 경우 대형 플랜트까지 이미 상용화가 되었으나, 국내 기술은 소규모 설비에 국한됨. 현재 중형 급 설비 기술 개발 중에 있기 때문에 기술에 대한 전문가 평가가 다양한 것으로 분석될 수 있음

· (수전해 수소 생산기술) 전문가 중 상용기술로 응답한 경우는 없으며, 핵심기술 수준으로 가장 많은 50%가 의견 제시하였으며, 실증 수준으로 30%, 원천 수준으로 20% 였음

· (석탄/바이오메스 기반 수소생산 기술) 상용화 수준에 대한 응답이 없었던 것을 제외하면 이 분야의 기술은 모두 고른 분포를 보이고 있음. 석탄 열분해에 의한 수소 생산은 IGCC 용 생산을 기반으로 하는 것으로 수소 생산보다는 복합가스 생산에 가까운 기술이며, 실질적으로 수소생산쪽으로는 filtering 기술과 system화하는 것이 필요하기 때문에 전문가 사이에서 이견이 있는 것으로 판단됨

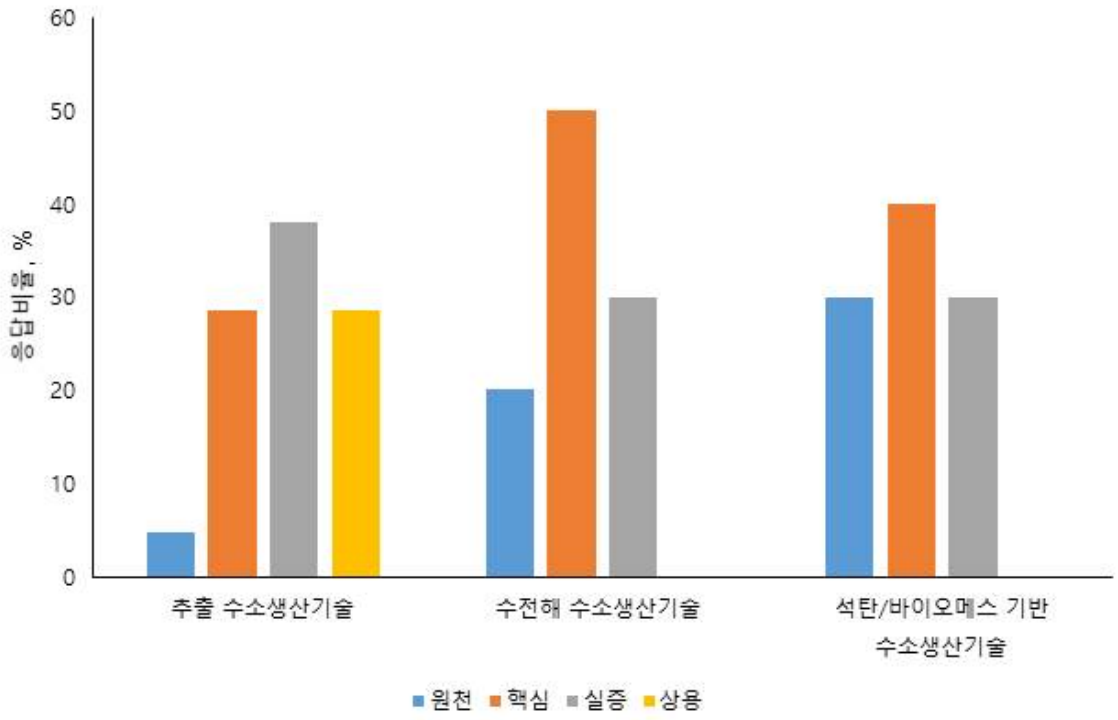


그림 4.60. 수소 생산기술별 국내 기술수준 평가

- (저장기술) 수소산업에서 가장 활발하게 적용되거나 혹은 개발 중에 있는 총 4가지 기술, 가스압축저장, 액화저장, 액상 (LOHC) 저장, 금속고체 저장에 대한 기술 수준에 대해 문의한 결과임
  · (가스압축저장) 가장 상용화에 가까운 저장기술이나, 핵심기술 단계와 상용화 단계로 구분됨. 이는 현단계의 고압의 정도에 따라 구분될 수 있으며, 450bar 내외의 압축기술은 실용화단계, 200 bar 기술을 상용화, 700 bar 압축기술은 핵심기술 단계 등으로 응답한 것으로 판단됨
  · (액화저장) 아직까지 국내 기술 수준으로는 원천기술 확보 단계로 60%의 전문가가 응답을 하였음. 현재 핵심기술 확보를 위한 국토교통부의 기술개발이 완료되는 25년경 핵심기술 확보가 가능할 것으로 판단
  · (액상저장) 선진국에서도 일부 실증기술을 확보한 것으로 조사되는 저장기술로 국내는 학/연을 중심으로 원천기술 확보 연구를 중점으로 실시하고 있으며, 이러한 상황을 반영하여, 전문가의 70%가 원천기술확보 단계로 응답한 것으로 분석됨
  · (금속저장) 응답자의 81%가 원천 혹은 핵심기술 확보 단계로 응답하였으며, 이 일부 실증 혹은 상용단계라고 답하였는데, 이는 금속저장 기술이 잠수함 등에서 활용되고 있는 현실을 반영한 것으로 분석됨

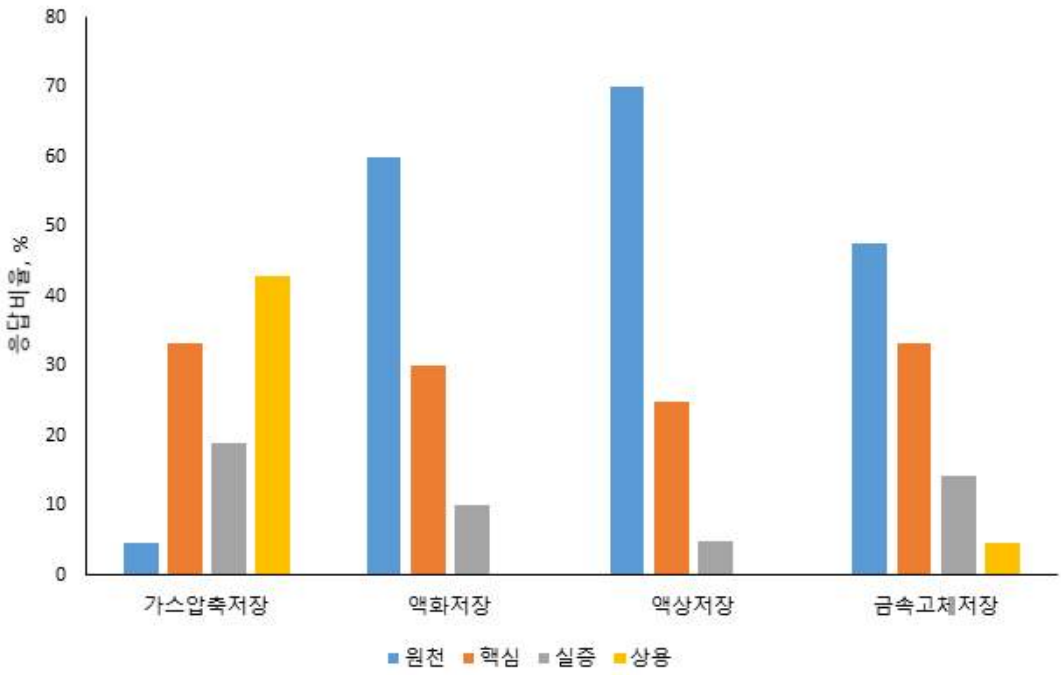


그림 4.61. 수소 저장기술별 국내 기술수준 평가

- (이송기술) 수소 경제 활성화를 위해 가장 중요한 인프라 핵심 역할을 하는 공급 및 이송기술에 대한 것으로 총 5개의 기술에 대해 조사되었음
  · (가스압축트레일러) 현재 장거리 수소 이송에 가장 활발하게 적용되는 기술로, 200 bar의 고압으로 저장된 튜브를 이송하는 방식임. 저장 기술에서 450bar내외를 목표로 개발되면, 이를 운송할 것으로 예측됨. 전문가들의 60%가 이러한 사실을 반영하여, 현재 200 bar의 상용화 대신 핵심 기술 단계로 평가한 것으로 분석될 수 있음. 단, 트레일러 자체는 이미 상용화된 기술임
  · (액화수소트레일러) 응답자의 95%가 원천 및 핵심기술확보 단계로 응답하였음. 현재 린데사 등의 일부가 액화저장 용기의 원천기술을 실증단계까지 가지고 있는 것으로 조사되며, 일본에서 상용화를 위해 실증단계에서 일부 운영하는 것으로 조사됨
  · (철도이송) 국내 상황에서 철도 이송은 냉정하게 판단해야 하며, 세계적으로도 아직까지 시범사업을 한 사례가 없어 58%의 응답이 원천기술확보 단계로, 32%가 핵심기술 확보단계로 응답한 것으로 사료됨. 선진국에서 일부 개념적으로 적용성에 대해 논의 중임
  · (선박이송) 해외 생산방식의 활성화를 위해 반드시 필요로 하는 기술로 선박이송은 액화 혹은 액상 저장기술을 기반으로 하는 방식임. 따라서 암모니아, LNG 등을 대상으로 하는 것은 이미 상용화되어 있으나, 액화저장 기술이 없어 국내에서는 원천기술 확보 단계로 대부분의 전문가가 판단(70%)한 것으로 분석됨
  · (파이프라인) 가장 많은 전문가의 의견이 다른 분야로, 타 이송방식에 비해 의견이 고르게 분포한 이송 분야임. 상용분야로 25%, 핵심으로 45%등으로 구분되어 제안되었음. 이는 현 울산시 및 산업단지를 중심으로 이미 수소가 파이프라인을 통해 이송이 되고 있는 상황을 반영한 것을 사료되나, 실질적으로 장거리 운송을 위한 가압 및 취성 대응 파이프라인의 재질 개발 측면을 고려할 경우 원천 및 핵심 기술 확보 분야로 판단될 수 있음
- (활용기술) 수소 경제의 목표가 되는 총 6가지의 활용분야에 대하여 현 국내 기술의 수준을 조사하였음.
  · (수소 충전소) 수소 충전소는 수소교통의 핵심 인프라로 분류되나, 전문가 의견은 각각 핵심기술확보단계 20%, 실증기술 확보단계 45%, 상용화 단계 25%등으로 달랐음. 이는 실질적인 국산화율 관점에서 평가할 경우 낮은 단계라 할 수 있으며, 현 사회에 대한 적용성만 볼 경우 실증 혹은 상용 단계로 판단할 수 있기 때문임. 실질적으로 넥쏘를 중심으로 국내 몇몇 수소 충전소를 기반으로 운영이 되고 있으므로 이러한 판단이 적절할 수 있으나, 핵심 기술 확보 면에서 볼 경우 부족한 상황이라 판단할 수도 있음

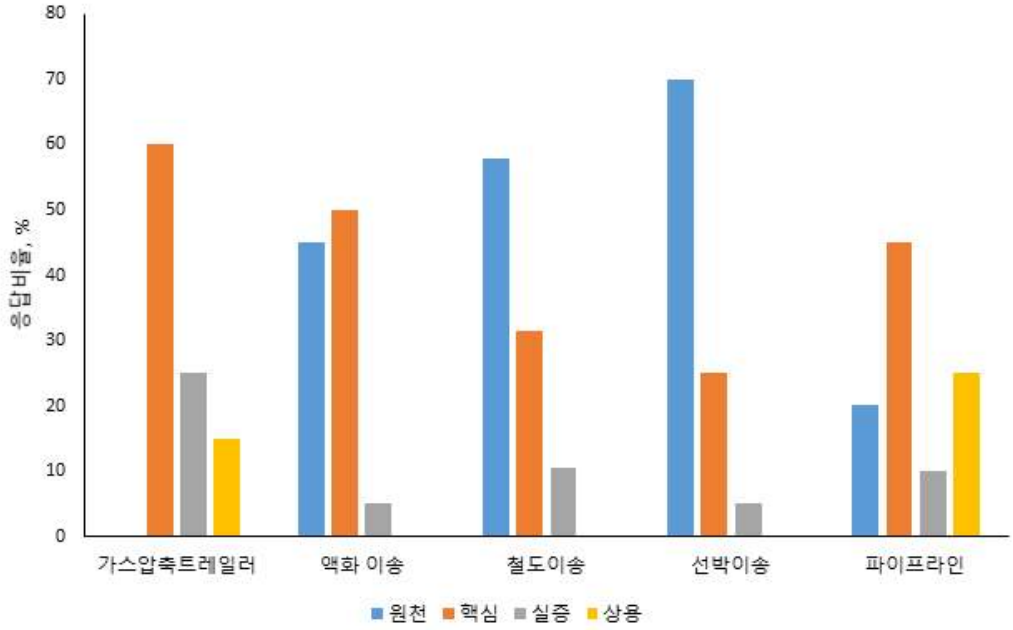


그림 4.62. 수소 이송기술별 국내 기술수준 평가

· (수소 자동차) 수소 승용차는 전문가의 75%가 상용단계로 판단하고 있으나, 일부 특히 엔진 스택등의 일부 기술 확보 측면에서 핵심기술 확보 혹은 실증 단계로 분석될 수 있음
· (수소 버스) 전문가의 65%가 실증단계로 응답하였으며, 핵심기술단계로 20%, 상용 단계로 15%가 응답하였음. 수소 버스 전용 수소스택 등의 개발이 필요한 상황이므로 의견이 비교적 다른 상황이 나타난 것으로 분석될 수 있으며, 실질적으로 수소 충전소도 버스 전용 기술이 요구되는 상황임. 단, 서울, 창원 시등에서 몇몇 시범사업으로서 수소 버스의 운행이 있으므로 많은 의견이 실증단계로 나타난 것으로 분석됨
· (특수차량) 국내에서 상용화된 경우를 찾기 힘드나, 미국에서는 이미 상용화된 분야임. 국내에서는 지게차용 스택 기술 개발 등이 실시되었으나, 실증되지 못한 상황임을 감안할 경우, 실증 (53%) 혹은 핵심 (37%) 등으로 의견이 나타난 것으로 분석됨
· (건물/발전용 연료전지) 국내 기술이 강점을 가지고 있는 분야로, 대용량 연료전지 발전소가 설치되어 운영되는 상황임을 비추어 볼 경우 상용단계에 대한 의견이 40%로 나타난 것은 타당한 면이 있음. 별도로 전문가의 45%가 실증단계로 판단한 것은 선진국의 효율수준 및 PEMFC, SOFC 등의 차세대 연료전지의 운전효율성 등을 감안한 것으로 사료됨

· (수소발전용 터빈) 선진국의 GE를 중심으로 개발단계에 있는 분야로 전문가의 94%가 원천 및 핵심 단계로 구분하였음.

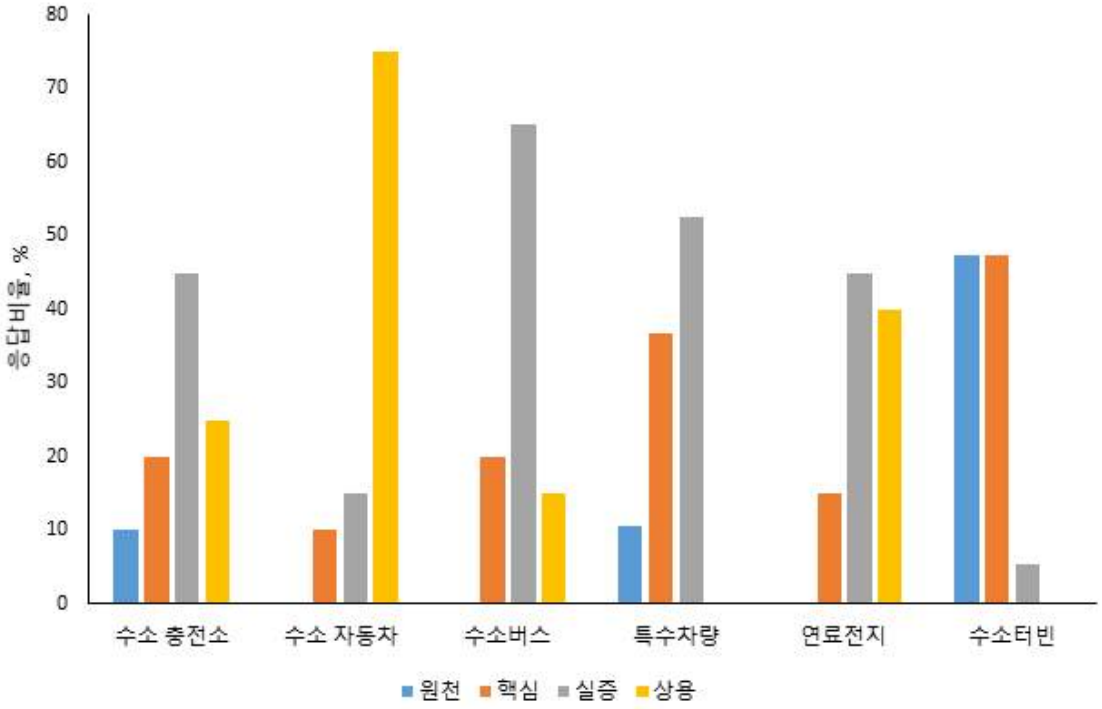
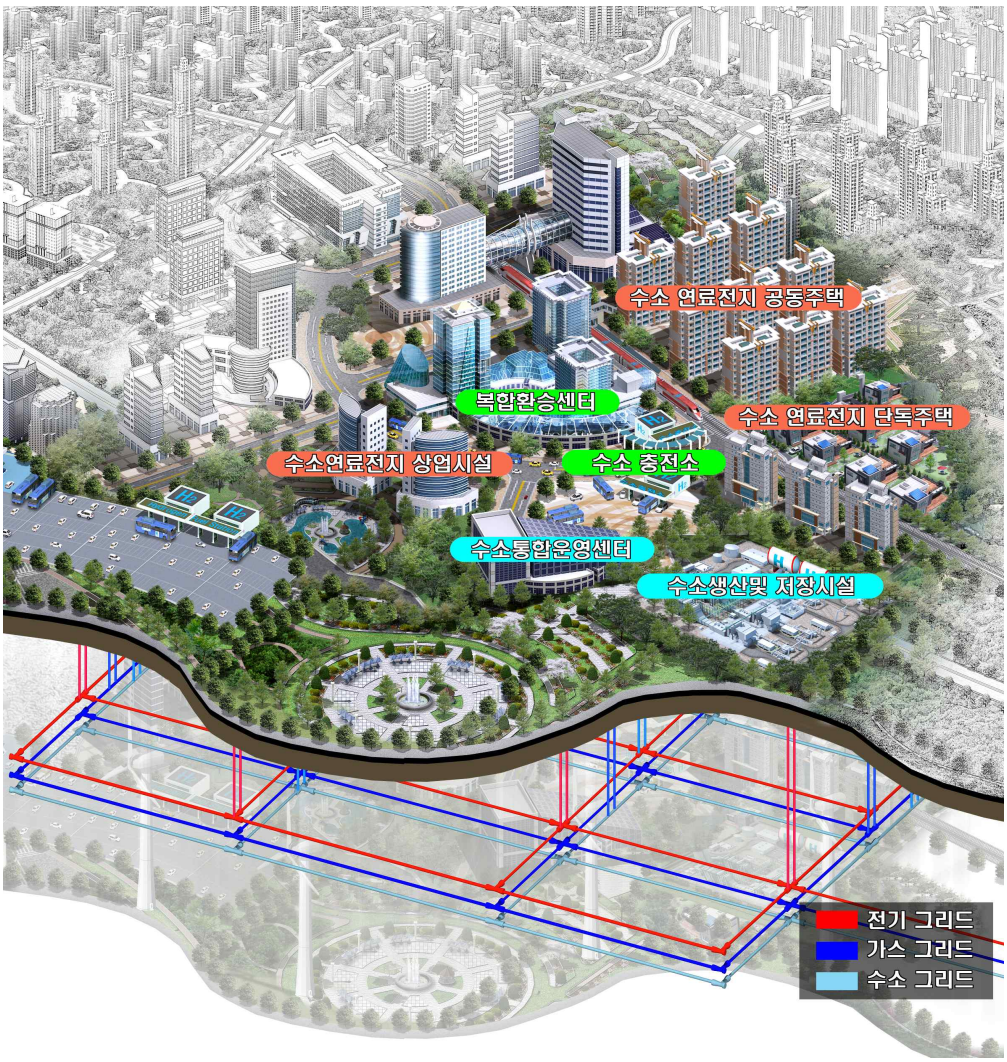


그림 4.63. 수소활용 분야 별 국내 기술수준 평가

제 5 장

장·단기 수소도시 모델 세부 계획



제 5 장 장·단기 수소도시 모델 세부 계획

제 1절 추진체계 도출

1. 연구단 및 사업단의 장단점 비교

□ 연구체계에 대한 비교

○ 요약

표 5.1. 연구단 및 사업단의 장단점 비교

구분	장점	단점
사업단	– 국외의 관심도 집중에 따른 성과 해외 진출 및 시장 확대 유리 – 현 기술적 검증 결과에 대한 국내외 신뢰도 향상 – 개발된 핵심기술과 국내외 시장의 직접적인 연계가 가능한 유일한 연구체계 – 핵심기술부터 운영까지 모든 연구행위 및 성과의 총결집을 통한 완성도 증대 – 국토교통부의 R&D영역 – 수소경제를 고려할 때 적합한 연구체계	– 연구외적 손실발생 (TB부지, 민원해결) – 기술개발과 검증 연계를 위한 시간적 공간적 한계점 존재 – 연구개발 종료 이후 유형적 성과의 활용 문제 발생 – 상업화 스케일 연구에 따른 예산 확보 – 과학적 진보 보다는 안정성 확보 기술에 치우칠 수 있음
연구단	– 원천기술과 핵심기술로의 연계를 위한 최적의 연구체계로 핵심기술의 가능성 확인에 최적 – 비교적 소규모 스케일의 연구 규모로 실패에 대한 부담이 적음 – 기술개발외 테스트베드에 대한 연구외적 손실 최소화 – 국산화 부품 및 소규모 단위공정 성능검증 등에 최적화 – 과학적 진보를 직접적으로 확인할 수 있음	– 개발 성과를 상업화까지 연계하기가 어려움 – 기술적 검증이 없어 핵심기술의 가능성 확보에 그칠 가능성이 높음 – 타 부처의 핵심기술 개발과의 중복성에서 자유로울 수 없음 – 국내용 성과 도출로 저평가될 수 있음 – 산업체의 관심유도가 어려울 수 있어, 학/연 중심의 연구가 될 가능성 높음

○ 연구단과 사업단의 체계 구분을 위한 기본 요소

– (사업의 성격) 과제의 성과가 과학적 진보를 대상으로 하는지 혹은 상업성을 지향하는지가 가장 중요한 요소로 고려됨

· (연구단) 원천기술로 개발된 성과를 핵심기술로 확대하기 위한 실증용으로 체계를 구축하는 경우가 일반적임. 단순 핵심개발이 아닌 원천기술의 구현을 위한 국산 부품과 시스템화에 대한 기술적 실증을 위해 실시되는 경우가 일반적
· (사업단) 기 확보된 핵심기술에 대하여 상업화의 가능성을 평가하기 위해 실시되는 경우가 일반적임. 시장성 확보를 위해서 성능평가와 함께 안정성을 검증이 동시에 이루어지며, 각 부품 등의 상업적 스케일로 구성으로 인하여 연구단에 비해 다양한 기관들의 연합체로 구성됨

– (연구 성과 실증의 대상) 연구성과의 실증 대상이 국내 혹은 기술의 검증에 국한될 경우에 한정될 경우와 시장의 반응까지 대상으로 할 경우를 구분
· (연구단) 연구성과 실증을 연구목표 달성에 국한하며, 단지 전문가에 의한 기술적 진보를 평가받는 경우가 일반적임. 따라서 연구목표를 도전적으로 추진하여야 하며, 도출되는 기술적 성과가 혁신성을 추구하고, 장기적인 전망을 가지고 있어야 함
· (사업단) 연구성과의 실증이 현 시장 진입 혹은 시장 주도의 가능성이 있는지에 초점이 맞추어져 있으며, 따라서 기술성과에 대한 산업체 및 시장의 반응이 나타남. 연구목표가 현 시장에 대한 안정성에 초점이 맞추어져야 하며, 단기적인 전망으로 추진

– (연구의 규모) 파일럿 규모와 상업적 스케일 필요성에 대한 평가가 필요함
· (연구단) 연구성과 실증 규모가 상업 스케일 보다 작은 규모. 다양한 실험 조건의 검증 즉 최적의 설계 및 운영/관리 조건에 대한 규명이 가능한 규모로 규정할 수 있음
· (사업단) 일반 플랜트 등의 규모로 시행되기 때문에 운전조건의 변경 등이 어렵고, 부품과 공정이 설계조건에 따라서 결정되어 제작되므로, 변화할 수 있는 여지가 적음. 따라서 안정성에 초점을 맞춘 O&M 등이 가능한 규모로 규정됨

그림 5.1. 연구단 및 사업단의 연구체계 결정의 키워드

○ 수소 도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발의 성격

– (사업의 성격) 수소경제 활성화 로드맵에 따른 `22년 목표 달성을 위해서는 현 단계에서 상업화에 가까운 검증이 요구되는 상황으로 분석될 수 있음

· 수소 교통 목표 달성을 위해서는 수소충전소가 운영이 되어야 하는 상황이며, 이를 위해서는 수소 공급체계가 상업적으로 운영이 되어야 함.

· 수소 경제 활성화의 핵심인 전력과 열 공급을 위한 연료전지 발전은 현재 시장이 형성된 상황이므로 이를 활용하기 위한 상업적 스케일이 요구되는 상황임

· 핵심적인 것은 수소 공급을 위한 생산체계 구축이며, R&D로서의 기술개발 측면보다는 인프라 측면에서 시범보급 성격이 강한 분야로 인식

– (사업의 규모) 개발된 혹은 구축된 수소 인프라가 사회적 합의 도출이 요구되는 분야이므로 테스트 베드에 대한 필요성이 절대적임

· 수소 경제 구축은 기본적으로 일반 주민을 대상으로 하는 것이므로 실생활에 접근성이 높아야 하는 특징이 있음

· 따라서 테스트베드의 존재가 곧 실생활에 접해야하므로 일반 도시 등의 실생활권이라 할 수 있어 일반 사용자들이 납득할만한 성과 도출이 필요하므로, 장기적이고 명확한 검증이 요구되는 사업 분야임

· 이러한 점은 기술개발과 검증의 규모가 최소 상업화에 근접해야 함을 암시하고 있으며, 개발 뿐만아니라 장기적인 운영을 통한 안정성을 확보해야 한다는 점에서 테스트베드의 규모가 커야 함

– (사업추진을 위한 기술현황) 현 단계에서 수소 경제 활성화를 위한 국산화 정도는 높지 않은 것으로 판단되므로, 이를 한단계 발전시키기 위한 기술이 요구됨

· 생산, 저장, 이송 인프라 면에서 국산화 정도는 대부분 분야에서 50% 수준을 넘지 못하고 있으므로, 각 분야별 산업화의 기반구축을 위한 국산화 목적의 R&D가 요구됨

· 도시 구성 및 시스템 구성을 위한 엔지니어링적 요소에 대한 경험 부족으로 인하여 설계, 엔지니어링 분야에서 선진국 카피 수준에 그치고 있으므로 이에 대한 경험 축적이 가능한 사업성을 추구해야 함

– (사업 추진 환경) 수소 도시, 교통 및 수소 그리드 자체는 상용화 수준으로 연구되어야 하는 상황이나, 주민 수용성 및 예산 등을 종합적으로 고려해야 할 필요가 있음

· (주민 수용성) 새로운 에너지에 대한 패러다임으로서 수소는 전문가외에는 생소한 분야이므로, 아직까지 보편적으로 알려져 있지는 않은 분야임.

· (안전성) `19.05.23 강원도 폭발사고, `19.06.10 노르웨이의 수소 충전소 폭발사고로 주민 수용성 면에서 좋지 못한 상황임을 고려할 때 급격한 패러다임 전환보다는 안전성 확보와 R&D를 통한 기술개발을 통해 접근이 필요한 상황

– (사업 예산 확보) 일반적인 도시를 목표로 추진할 때의 예산은 천문학적이므로 사업 규모에 대한 심도있는 논의가 필요할 것으로 판단

· 일반적으로 R&D 비용의 책정은 약 3년 정도가 소요되는 것으로 분석되며, 비교적 작은 규모일 경우 단기적으로 기획 이후 1년이 소요됨

· 본 사업은 수소 도시 개발과 수소 경제활성화 목표 달성이 함께 맞물린 상황으로 시급한 개발착수와 대규모 예산요구가 동시에 필요한 상황임에도 불구하고 국산화 기술 부재라는 부정적 상황임

· 이를 감안할 경우 비교적 소규모 예산을 투입하는 단기 착수와 대규모 예산이 요구되는 장기 기술개발이 동시에 진행될 필요가 있음

– (사업의 시급성) 수소경제 활성화 로드맵에 따라 본격적인 수소 사회 진입을 위한 인프라는 기본적으로 `22년을 대상으로 추진되어야 할 만큼 시급성이 존재

· 국산화 기술의 개발이라는 관점이 급변하는 상황에 맞추어진 시장을 대상으로 할 때는 시급성이 존재하기 때문에 빠른 연구개발 착수가 필요함

· 국제적인 수소 경제 구축을 위한 동맹이 시작되는 현재 선진국에 뒤처지지 않기 위해서는 빠른 기술 개발 착수가 필요함

□ 기술수요조사에 따른 연구단 및 사업단 모델 분류

○ 전문가 기술 우선 순위에 따른 분류

– 전문가 기술순위는 총 3개의 그룹으로 구분된 결과를 나타내었음

– 가장 시급한 모델 순으로 수소 생산 모델, 교통모델, 그리고 주거 및 물류모델 순으로 분류되었음

– (수소 생산모델) 대표적으로 대용량 수소 생산 모델로 부생수소 및 SMR에 의한 천연가스 추출을 기술이 요구되며, 이는 현 단계에서 국산화 기술 개발을 중심으로 산업부를 통해 기술 개발 중에 있음

– (교통모델) 대부분 산업부 등에서 추진하고 있는 교통과 관련된 R&D는 수소 충전소를 중심으로 기술개발 중에 있음. 국산화를 위한 부품소재 개발과 충전소 구축을 위한 모델은 다양하게 추진중에 있음

· 상용화를 위한 몇몇의 시범사업이 추진되어 경험 구축

· 현재 SPC 사업체, HyNet 를 통한 100개 충전소 구축 사업 추진 중에 있음

* HyNet : 현대자동차, 에어리퀴드, 넬코리아, 한국가스공사, 도로공사, SK가스등 15개 주력 기업 등이 모여 2,000억 규모의 자본금으로 '22년 기준 100개 수소충전소 건립을 위한 특수 목적 법인

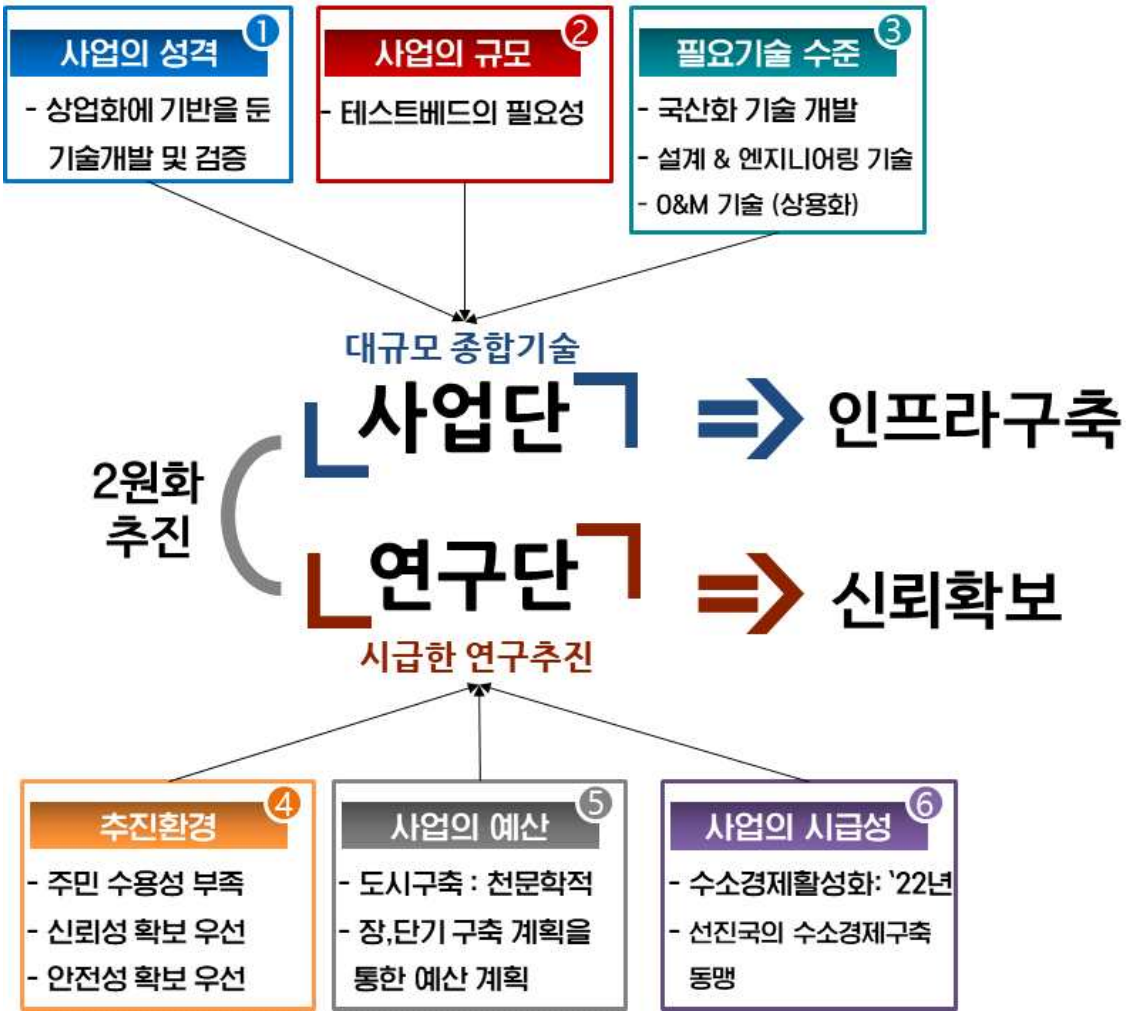


그림 5.2. 수소도시 기반시설 및 수소 그리드 구축 사업의 성격 분석

– (주거모델) 실질적인 주민을 대상으로 추진해야하는 어려움이 있으나, 기반 인프라라는 관점에서 가장 시급한 추진이 필요함

· 전문가는 주민 수용성 문제로 인하여 신중한 접근이 필요하다는 차원에서 2그룹으로 분류

– (물류모델) 물류모델은 전국 혹은 광역의 수소 수급이 가능한 수소 생산량이 뒷받침될 경우에 요구되며, 아직 저장 기술이 없는 관계로 장기모델 추진이 필요

○ 현 부처에 따른 분류

– (산업부) 현 국내 상황에서 기술개발에 대한 주 역할은 산업부에서 맡고 있음. 핵심기술의 국산화를 추진하고 있으나, 시스템적인 통합차원에서 접근이 없이 단위 공정 개발 차원으로 접근

: 수소추출에 대한 핵심기술 개발, 분산형 수소 생산기지, 연료전지 기술 개발, 수소 충전소 부품, 설계기술 확보 등

· 수소 생산을 위한 핵심기술 개발 및 실증까지 추진 중이므로 국토부 역할과 구분하여 기술개발을 진행

– (과정부) 미래의 원천기술 중심으로 기술 개발을 진행중에 있어, 단기적으로 활용이 어려운 기술을 중심으로 추진

: 핵심 연료전지 원천기술의 국산화 (PEM 등), 차세대 수소에너지원처니기술 및 금속저장을 포함한 대용량 원천기술 확보, LOHC 기술 확보, 복합수소스테이션 부품/소재 신뢰성 확보를 위한 표준화 기술 등 개발

– (국토부) 시스템적으로 통합을 목적으로 추진하되, 아직까지 기술개발 중인 것은 상업화된 기술을 토대로 통합 시스템 구축에 대한 설계 & 엔지니어링 기술을 우선적으로 추진하고, 향후 기술 개발 이후 검증을 추진

: 테스트베드를 중심으로 기술개발을 위한 인프라 구축 및 통합 설계와 엔지니어링 기술 확보를 중심으로 기술 개발

· 테스트베드 추진을 위한 연구단 혹은 사업단으로서 통합 R&D 추진

2. 연구단 및 사업단 추진 항목 분류

□ 연구단

○ 단기추진 전략에 따른 주거 및 교통모델에 대한 연구단 추진이 필요

– 현 수소 도시 기반시설 및 그리드 구축을 위한 인프라의 기본이 되는 모델로 분류

– 생활 환경 (에너지 패러다임 전환)에 대한 파급효과를 고려할 때 산업영역을 제외한 필수적인 핵심 기반으로 분류될 수 있음

○ 수소 생산 모델은 산업부를 통해 LNG 생산기지내 SMR 대용량 기술개발이라는 항목으로 기 추진되고 있으므로, 국토부를 통한 추가실시는 중복성 문제에 해당

- 시급한 문제로서, 주거 및 교통모델을 기본 인프라로서 우선 추진하되, 향후 산업부에서 추진한 생산기지 모델 완성시 기술 접목을 고려하여 추진

○ 현재 국내 수소 사회구축 로드맵과 국제적 정세를 고려할 때, 시급한 추진이 필요하며, 주민 수용성 확보를 위한 시범사업 목적 달성을 위한 규모 확보

- 연구단 추진은 시급성과 주민 수용성 확보를 위한 목적에 적합한 추진 전략으로 현재 주민 수용성이 확보되지 못한 시점에서 사업단 추진은 어려울 전망
- 연구단 규모에 적합한 수준으로 추진하는 것이 타당한 것으로 판단됨

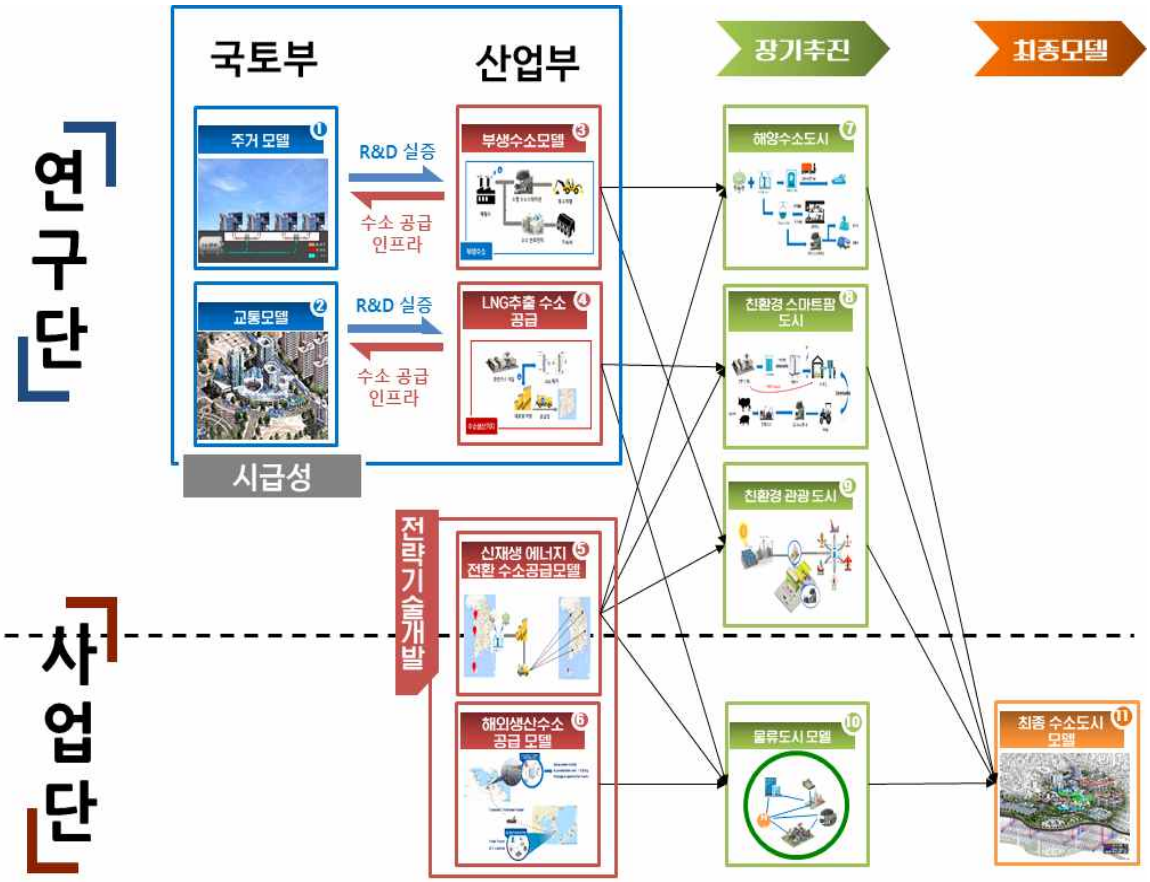


그림 5.3. 각 모델별 연구단 및 사업단 구분

□ 사업단

○ 장기적인 기술개발과 대규모 실증이 필요한 분야

- 수소 공급 인프라는 국내 생산시 그린 수소라는 목적에 부합하지 않을 가능성이 높음. SMR을 통한 천연가스 추출은 CCS를 동반해야 하나, 이후 탄소처리에 대한 전략이 구체적이지 못함
- 국내 대표적인 신재생에너지 단지는 월령, 새만금 그리고 당진 등이 존재하나, 실질적인 대규모 신재생에너지 단지는 새만금으로 `22년 이후 완공을 추진 중이므로 단기간 활용은 불가능한 상황
- 또한 이러한 신재생에너지 활용 기술은 많은 예산이 필요한 분야이므로 장기적인 관점에서 사업단 등으로 추진하는 것이 타당
- 해외 생산과 물류도시는 함께 운영이 되어야하며, 타 부처에서 개발중인 수소선박, 수소액화저장 등의 기술개발이 동반되어야 하므로 장기적인 사업단으로 추진됨이 타당

제 2절 단기모델

1. 시급성

□ 국제적인 정세

○ 선진국 연합

- 일본, 미국, 유럽간 수소에너지 기술개발에 대한 공동선언문 발표를 통해서 연료전지의 기술개발을 가속화할 것을 선언
- 일본은 가정용 연료전지의 세계 선두주자로 이미 에네팜 프로젝트를 통해서 세계 유일의 가정용 연료전지 시장을 보유함
- 따라서 이러한 공동 선언 자체는 일본의 연료전지의 세계화를 위한 선언으로 해석될 여지가 있음
- 이런 세계 수소 선진국의 동맹 현상은 수소경제 도입을 위해 발빠르게 움직이고 있음을 간접적으로 시사함. 단 이러한 국제적인 흐름에 한국이 편승하지 못하고 있으며, 이에 대한 대안 수립은 매우 시급한 상황임

○ 유럽

- 그린 수소 생산 기술의 강국으로 유럽의 대표적 수소 생산 기업 nel 사 (노르웨이), linde 사 (아일랜드), Air Liquide 사 (프랑스), Praxair (영국), Messer & 바스프 (독일) 등이 1800년대부터 풍부한 수소 생산 경험을 바탕으로 전세계 수소 공급의 절대 강자임
- nel사, linde 사 등은 유럽에서 여러 개의 수소충전소 등을 운영하고 있음.
- 유럽의 대표적인 기업 들은 일본 뿐만아니라 국내에서 수소공급 및 수소 충전소 등에 진출하여 운영중에 있음
- 독일은 2018년 기준 수소충전소 57개를 구축했으며 Shell과 ITM Power 사는 라인란트 정유소에 연간 1300만 톤에 달하는 세계최대 규모의 수전해 시설을 건립 중이며 2020년 완공을 목표로 하고 있음.

· 총 10 MW 규모의 수전해 플랜트이며, 2 MW 스택 5기가 설치되며 각각 독립적으로 운영되도록 구성

· 적용된 수전해 기술은 PEM 기술이며, 효율은 45−55 kWh/kg H_2 임

· (예산) 약 20만 € (약 266억원 투입)
· (공사기간) `17년 – `20년

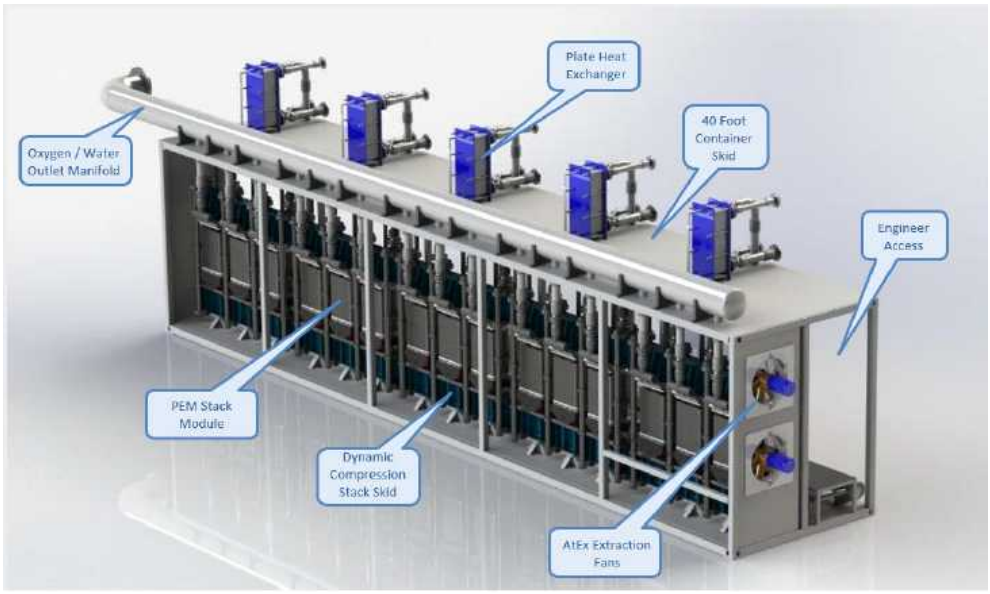


그림 5.4. 독일의 세계 최대 1,300만톤/년의 수전해 수소 설비

- 현재 nel사, Air Liquide 사는 국내 HyNet을 통해서 수소 충전소 운영에 뛰어든 상황으로 실질적으로 유럽 회사의 국내 사업에 대하여 오픈되어 있는 상황임.
- `18년 6월기준 현재 전세계 수소 충전소는 287개이며, 그 중 20개를 nel사에서, 34개를 air liquide사에서 운영 중에 있는 전문 수소 기업으로 국내 수소 사업에 대한 외국계 자본의 투입으로 해석될 여지가 있음

○ 미국

- 미국은 아직까지 수소자동차에 집중되어 있는 상황으로 일본과의 수소 연료전지 개발이 본격적인 수소 에너지 개발로 해석될 수 있음
- Air products (미국), Hydrogenics (캐나다)가 대표적인 기업으로 세계적인 수준의 수소 생산 및 공급 기업임. 국내 연료전지 시장내에 미국 Bloom energy 사가 높은 효율의 SOFC 기술로 영역을 확보하고 있는 중임

○ 일본

- 도쿄 올림픽 선수촌을 수소에너지 타운으로 조성한 이후 본격적으로 수소 경제의 리더로 부각하고자 계획함. 그러나 실질적으로는 신재생에너지에 의한 청정에너지 보급 계획의 일환 중 일부를 수소로 공급하는 것임

- 전체 에너지 공급을 태양광에 의한 생산과 폐열에 의한 열 공급외적으로 수소에 의해서 공급 계획

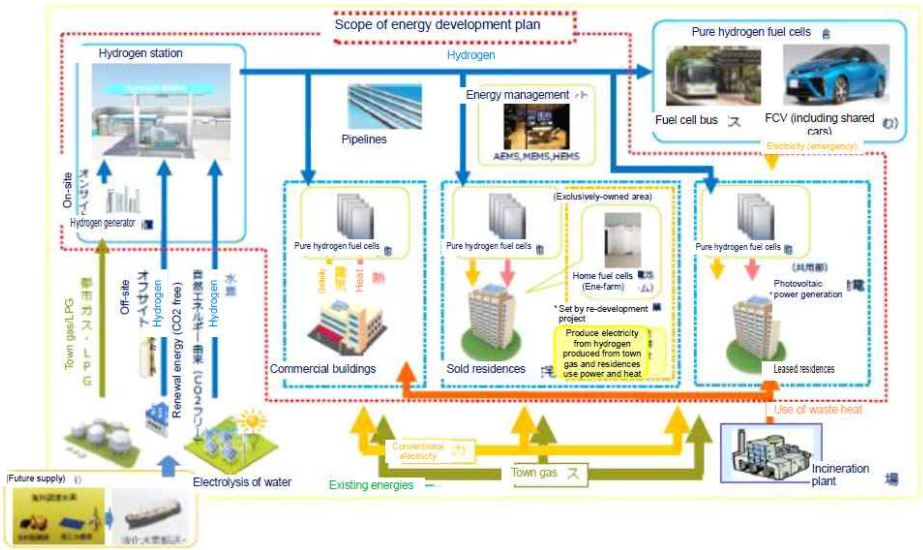


그림 5.5. 도쿄올리픽 선수촌 수소에너지 활용 계획

- 후쿠시마에서 1만 kW급 수소 생산 설비를 제조 중이며 이를 활용해서 도쿄 올림픽 선수촌의 에너지 공급을 수행, 에너지 선진국 및 수소 경제의 전환 이미지를 구축할 계획

· 도쿄, 주오 구 하루미 구역내 있는 올림픽 선수촌내 수소 충전소가 `20년 건설 계획

· 선수촌내 숙박시설, 훈련센터, 카페테리아 등에 수소를 파이프라인에 의해 공급되며, 각 스테이션내 연료전지가 전력과 열을 생산하도록 구성

- 수소 사회의 실현을 홍보하고자 수소차 택시, 수소 버스를 운용할 계획이며 선수촌 에너지 공급원으로 수소 발전소를 이용하며, 성화봉송도 수소로 붙이는 방향을 추진 중

- 세계에서 일본은 이미 수소 에너지 리더로서의 브랜드를 구축한 것으로 평가되며, 한국은 후발주자로서 평가되고 있음

- 현재 추진중인 국내의 수소 경제 구축계획은 일본 계획과 유사한 면이 있어 독자적인 기술개발에 대한 추진계획이 절실하게 요구됨

□ 국내 상황

○ 수소경제 활성화 계획과 수소경제 활성화 기술 로드맵 추진 중

– `19.01 수소 경제 활성화 로드맵 발표 이후 `19.04 수소 경제 활성화 기술로드맵 구축을 위한 기획이 과학기술정보통신부 주관으로 실시

· 총 5개의 분과로 구분하여 실시함

· 생산, 저장·운송, 활용 (수송, 발전/산업), 안전·환경·인프라 분과로 구분하였으며, 그중 수소도시관련 인프라는 5분과인 안전·환경·인프라 분과에 속해서 기획 중에 있음

– 기획은 수소경제활성화 로드맵 목표를 달성하기 위한 기술 개발 로드맵으로서 가장 큰 문제는 `22년을 기준으로 수소 공급과 수소 경제를 실현하기 위한 기술개발이 시급하다는 것임

· `22년 목표 : 수소차 6.7만대, 발전 1.5 GW, 가정용 50 MW, 수소공급 47만톤/년, 수소가격, 6,000 원/kg

· `22년 목표를 실현하기 위해서는 수소차를 제외하고 나머지에 대한 기술 개발일정이 도전적인 상황임. 현재 국산화 기술로 볼 경우 대용량 발전설비 보급외 사실상 일정상 어려움이 있을 것으로 사료됨

○ 현 기술 개발 현황으로부터 문제점 분석

– (수소자동차 보급) 수소 자동차 생산라인 구축을 위해 `30년까지 7조6000억 투입, 50만대 생산라인 구축을 발표함

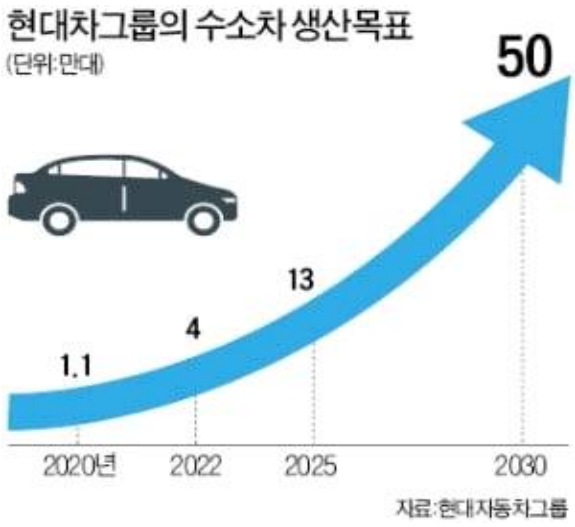


그림 5.6. 현대자동차 수소자동차 생산 목표 (한국경제신문, `18.12.11)

· 현대 자동차의 생산 목표가 `22년 4만대 수준인데, 수소경제활성화 로드맵은 6.7만대 내수를 목표로 추진

- (발전) 국내 현재까지 연료전지 발전 총 합이 340.2 MW임. 이를 1 GW까지 증설해야 하는 상황이며, 이는 기술개발과 상관없이 이미 상업화된 상황에서 예산 투입으로 해결될 상황임
- (가정용 연료전지 보급) 현재 가정용 연료전지 보급은 약 2500세대 내외로 0.75 kW를 기준으로 약 1.9 MW 수준임. 따라서 지난 10년간 보급된 것의 약 25배를 4년내에 보급해야하는 상황으로, 기술개발 보다는 목표달성을 위한 민간 정책적 유인책이 더 필요할 듯 판단됨
- (수소공급 목표) 47 만톤/년은 현재 부생수소로 충당할 수 있는 목표가 아니며, 실질적으로 SMR에 의한 수소 공급외적으로 방법이 없음. 현재 산업자원부에서 추진중인 1,000 kg/일의 수소 생산을 약 1,000 대를 공급하고, 매일 1,000 ton 이상을 소비를 해야하는 상황임.
- (수소단가 목표) 6,000 원/kg은 SMR로 천연가스 추출 방식으로 할 경우 달성이 가능하나, SMR 대용량 기술 개발이 시급

○ 전체 상황을 고려한 추진 계획

- 전반적인 기본 인프라에 대한 선진국의 기술이 1900년 전후부터 축적된 노하우를 가지고 몇몇 분야를 제외한 수소 경제 전반에 여과없이 유입되고 있는 상황이나, 현재 국내 대응기술이 부족한 상황
- 소재와 기본 인프라 분야에서 국내 기술이 부족한 상황임. 따라서 현재 주어진 `22년 목표를 위한 기본 인프라 분야가 없어 달성이 불투명한 상황임. 따라서 이런 기본 인프라 분야를 최대한 빠르게 수준을 높이는 것이 수소경제 활성화 로드맵 목표 달성을 좌우할 것으로 분석됨
- 산업부 수소 경제관련 기술 개발 시기와 현 `22년 목표 달성시기 간 조절이 어렵고, 이후 인프라 개발시 목표 달성이 시기적으로 맞지 않음. 따라서 2 track 진행이 필요함
- 현 상황만 놓고 볼 경우 가장 시급한 문제는 기본 기술 개발이후 검증을 위한 기본적인 인프라가 없는 상황이므로, 국토교통부는 이를 위한 목적으로 수소 도시 모델을 위한 기본 인프라를 구축
- 이를 통한 표준 DB를 통해 향후 개발되는 기술들에 대한 기술 검증의 기준을 제시할 수 있는 방향으로 추진함

– 가장 공통적으로 요구되는 기본 인프라는 수고공급체계 및 발전과 교통으로 축약될 수 있음

– **(발전)** 수소 발전의 핵심인 수소 연료전지 분야는 이미 산업계에서 활발하게 기술을 업그레이드 중에 있으나, 주민수용성 부족에 따라 실질적인 보급 시장 확대를 꾀하기에 역부족임.

· 따라서 각각의 주택을 대상으로 전반적인 공급 시장 확대를 위해서는 R&D를 통한 안전성과 수소 연료전지를 통한 열/에너지 보급에 대한 응용 분야 확장 그리고 주민 수용성 확보가 가능한 R&D 전략을 추진

· 중앙집중형 연료전지 발전은 이미 산업화가 된 것으로 세계 최대 시장이 국내이므로 R&D 보다는 산업쪽으로 초점을 맞추어 보조금 혹은 재정사업으로 추진하는 것이 타당함.

· 이에 반해 개별 주택에 대한 R&D는 주민 수용성과 관계가 있는 분야로 직접적으로 주택을 대상으로 하기에는 위험 부담이 있으므로 별도의 R&D에 의해 시범사업으로서 추진하는 것이 타당

· 현 에너지 플러스 하우스 기술 확보는 주택 혹은 건물 등에 소요되는 에너지량을 저감하고, 시범사업 구축시 주민 수용성 확보가 가능한 분야임. 또한 이를 통한 안전성 홍보를 지속적으로 추진함으로써 주민 수용성 확보 수단으로 활용

– **(교통)** 전세계에서 수소 경제의 핵심으로 추진하고 있는 분야로 선점을 하고 자하는 분야임. 가장 쉽게 접근이 가능한 분야이며, 응용분야로서 경쟁력 있는 기술을 가지고 있는 장점이 있음

· 실질적인 경쟁은 전기자동차 분야로 그림 2.79에서 볼 수 있는 것처럼 친환경 자동차 중에서 시장 및 보급 목표가 가장 작은 분야가 FCEV임

· 이를 확대하기 위한 전략의 핵심은 수소충전소 보급이 되며, `22년 310개소 건설을 목표로 추진. 현재 HyNet은 100기 보급 및 운영을 기준으로 추진

· 전략적으로 성공을 위해서는 현대자동차의 생산능력, 소비자의 구매력, 충전소등의 인프라 보급 등이 3축으로 구성되어 상호 보완적일 때 성공이 가능

· 현대자동차는 산업계 영역의 투자, 소비자의 구매력은 주민 수용성이므로 수소충전소의 개발이 R&D 영역으로 구분될 수 있음. 산업부를 통해서 수소충전소 등은 이미 기술개발 중에 있음. 그러나 이는 수소승용차를 대상으로 개발되고 있으며, 아직 전세계적으로 수소버스만을 위한 수소충전 프로토콜은 없어 이에 대한 선점이 필요함

· 국토교통부는 수소 버스용 수소충전소 충전 프로토콜 개발, 수소 공급을 위한 인프라와 수소 수급을 위한 인프라 구축 등의 2개의 축으로 기술 개발이 요구됨

· **(수소버스 충전기술)** 현 단계에서 수소 공급은 부생수소를 통한 튜브트레일러 공급이 일반적이므로 이는 산업의 영역으로 구분되며, 수소 버스를 위한 대용량 수소 충전소 및 충전 프로토콜 개발이 필수적인 R&D 영역으로 구분될 수 있음
· **(수소수급 인프라)** 수소 교통 활성화에 따른 수소 수급은 단기적으로 수소발전 등에 활용되는 것에 우선될 가능성이 높기 때문에 `22년 수소공급 목표의 대부분을 소진하도록 구성되어야 함. 따라서 수소 교통 목표 달성을 기준으로 수소 공급량이 부족할 가능성이 높기 때문에 장기적으로 해외 수입 혹은 해외 생산 가능 지역 선점이 요구됨
· **(수소 교통 확대)** 국내 기술력으로 세계에서 경쟁이 가능한 수소 자동차가 현 단계에서 해외 시장 점유율이 일본의 1/5 수준임. 이는 수소자동차 수출 시기에 대한 실기로 인한 것이며, 일본, 미국, 유럽의 공동 선언에 준하는 전략이 필요하니 시점임. 현 중동의 사우디아라비아, UAE 등은 활발하게 수소경제를 위한 준비 단계에 있으므로, 이에 대한 선점 전략을 통하여 선진국에 대응할 수 있는 준비를 해야 함

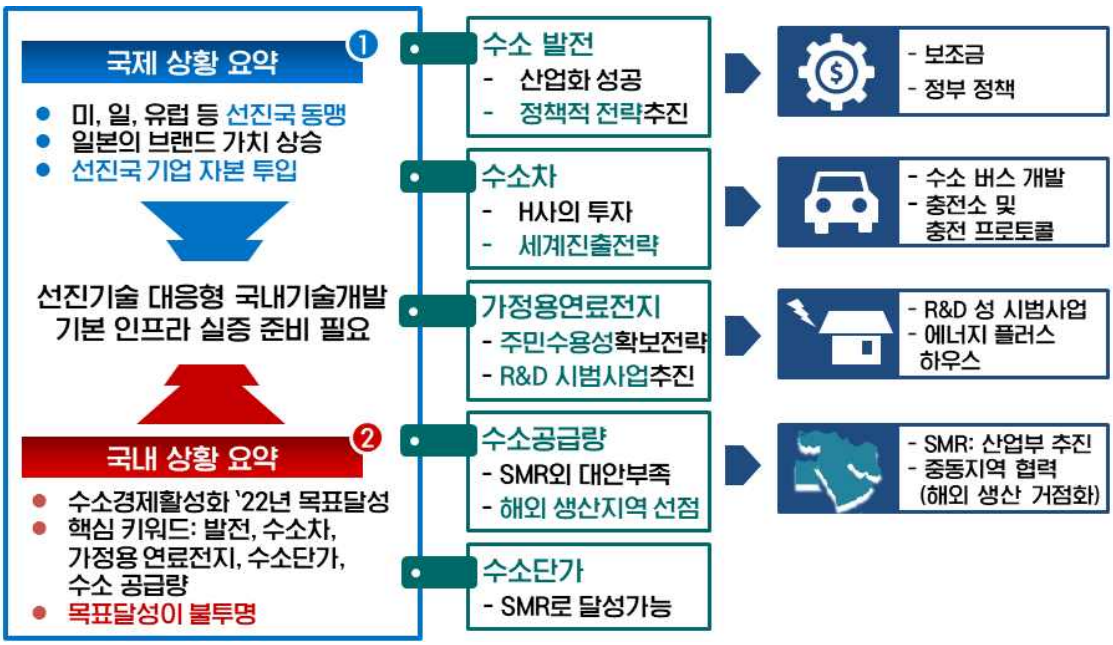


그림 5.7. 단기 기술개발의 전략적 타당성 및 방향성

2. 기술개발의 개요

□ 수소 주거 에너지 플러스 하우스

○ 정의

- 건축물의 효율성 강화와 신재생에너지를 활용하여 건물내 에너지를 제로화에서 플러스로 만드는 개념
- (패시브 기술) 일반적으로 고단열과 자재의 업그레이드를 통해서 에너지 손실을 저감하는 기술을 의미하며, 단열, 기밀, 열료 차단 등을 주요 골자로 함
- (액티브 기술) 외부 신재생에너지 등 외부 에너지 생산시스템을 적용하여 주택 혹은 건물내 요구되는 에너지 량의 분담을 실시

그림 5.8. 플러스 에너지하우스의 패시브 및 액티브 기술
(건설기술연구원, 효율적인 에너지 운용을 위한 플러스에너지 주거단지 핵심기술개발 기획, 2017)

- 국내에서는 신재생에너지 원으로 태양광을 많이 적용하나, 이는 주간에만 적용될 수 있다는 한계점으로 인하여 반드시 에너지 저장 시스템 (Energy Storage System, ESS)가 요구됨.
- 일반적으로 개념상으로 패시브 기술로 인한 에너지 효율 증대를 통해 60% 내외의 절감과 40% 내외의 에너지 생산을 통해 달성
- 본 기획에서는 태양광과 수분해 및 수소 연료전지를 결합한 시스템을 통해서 ESS 시스템을 대체하며, 효율성을 더 증대할 수 있는 기술임
- 일반적인 플러스 에너지 하우스에서는 태양광 PV와 태양열의 조합을 통해 액티브 에너지를 달성하나, 수소 연료전지를 결합할 경우 태양열 시스템이 필요 없어 하나의 시스템으로 단순화할 수 있는 장점이 발생

○ 수소 주거 에너지 플러스 하우스의 기술 구성

- 일반적인 기술 구성은 그림 5.10에서 볼 수 있는 것처럼 태양광을 활용하여 전기와 에너지를 생산하나, 추가로 연료전지 시스템과의 조합을 통해 효율을 증대시키는 방식이 고안됨

– 추가적으로 수소 연료전지 차량을 활용한 비상 전원시스템 등이 적용될 수 있음

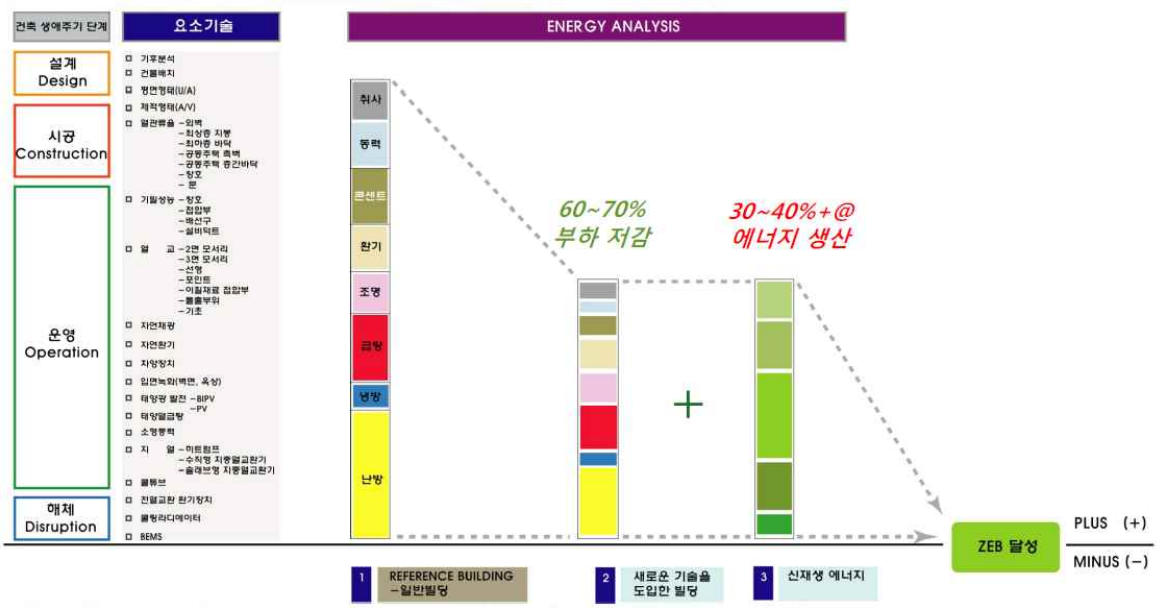


그림 5.9. 에너지 부하 절감에 대한 분석의 예
(이성진, 에너지 플러스형 미래주택 개발, 코오롱 건설, 2011)

그림 5.10. 태양광과 연료전지 결합의 예시

□ 수소 대중교통

○ 수소버스 현황

- 국내 수소 버스는 서울, 울산, 부산, 창원시 등을 중심으로 시범운행 중에 있을 만큼 상용화 수준임. 따라서 별도의 기술개발은 산업체에서 시행중에 있음
- 이러한 수소 버스는 1회 충전량이 25 kg 내외로 일반 수소승용차에 비해 5배 정도의 대용량 충전이 필요하므로 대용량 수소 충전소와 충전 프로토콜이 필요한 상황임
- 현대자동차 수소버스의 경우 현재 Type4 700 bar용기를 사용하고 있으며 이 용기를 충전하는 연료주입 표준은 JPEC-S0003을 준용하여 적용하고 있으며 국제적인 표준은 SAE J2601-2를 따라 350 bar 용기에 적용
- Type4 용기는 연료주입 중이나 주행 중 85℃를 넘으면 안되기 때문에 고온 환경에서 운영시 350 bar 압력용기의 적용과 충전시 수소의 부분적인 냉각을 고려한 설계가 필요.
- 현재는 수소승용차용 충전소를 활용함에 있어 약 40분 내외의 충전시간이 요구되는 상황임

○ 수소버스를 위한 충전소 기술 구성

- 국내에 설치되고 있는 수소 충전시설은 주로 승용차를 대상으로 하며 일부 버스를 충전할 수 있게 설계되고 있으나 버스전용의 설계 개념은 아직 없으며 50kg/h 내외의 압축기 용량으로 설계되고 있어 수소버스의 동시 충전 등은 어려운 상황이며 버스의 연속적, 지속적 충전 시 관련 제반 저장 및 압축기가 이를 충당할 수 없는 형태의 설계임.
- 국내 업체의 경우도 700기압의 수소충전시설의 핵심 시설인 압축기와 저장용기를 해외 기술에 의존하고 있으며 각종 밸브, 유량계 등 핵심 부품류도 해외기술에 의존하고 있음. 700기압 수소충전소 국산화율 40%, 가격 비중으로 국산화율을 고려시 30% 이하.
- (버스충전소용 모델) 그림 5.11은 버스용 충전소를 수소 생산, 공급, 주입까지의 모든 과정을 축약해서 나타낸 것으로, 전형적인 수소 충전 모델의 컨셉을 나타낸 것임.
- 현재 적용중이 버스용 수소 충전은 350 bar를 기준으로 되어 있으나, 현재 국내 충전소는 700 bar를 기준으로 되어 있어 관련 기술의 개발이 필요함

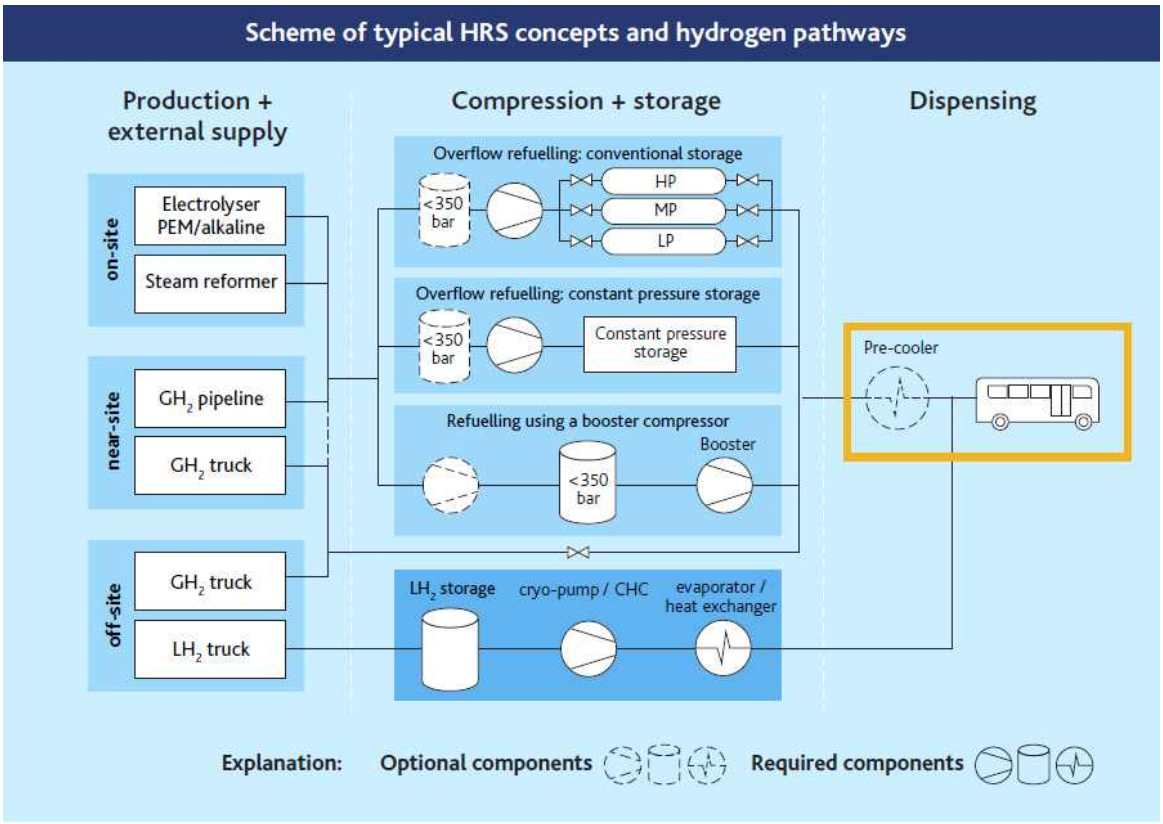


그림 5.11. 버스용 수소 충전소 컨셉
(New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots, Guidance Document on Large Scale Hydrogen Bus Refuelling, New Bus Fuel, FCH JU, 2017)

○ 핵심적인 기술개발

- 압축기에 대한 것이 주유소의 핵심이며, 국내 기술이 없어 기술 개발이 시급함
- 현재 충전 프로토콜은 SAE J2061-2014까지 규정된 프로토콜에 따라서 충전되고 있음.
- SAE J2061은 수소자동차를 위한 프로토콜이며, 1.8 ~ 7.2 kg/min의 충전속도에 대해서 규정하고 있음. 이는 버스 충전량 25 kg의 충전을 기준으로 13분~3.5분의 범위를 표준화하고 있음. 따라서 이를 만족시킬 수 있는 충전 방안 개발이 요구됨

제 3절 수소 도시 주거 모델

1. 기술개발의 개요

□ 필요성

○ 지속적으로 온난화에 대한 위험성과 탈탄소의 중요성이 강조되는 시점에서 신재생에너지만을 활용하기에는 기술적, 비용적 부담이 큼

○ 현재 선진국은 약 20년전부터 수소경제 실현을 위해 로드맵을 구축하고 기술개발을 시작하였으나, 국내는 비교적 최근 대규모의 투자를 계획함으로서 후발주자의 지휘를 가지게 됨

- 우리나라의 수소 자동차 기술은 세계 최고 수준이나 이의 보급을 위한 관련 인프라 산업(수소 생산, 이송, 저장 등)은 선진국과 격차가 큼
- 이를 극복하기 위한 fast-follow 전략과 기술적 우위성이 있는 분야를 구분함으로써 상황에 맞는 로드맵 구성이 시급한 상황임

○ 개별적인 기술과 함께 **수소경제**라는 생태계를 구성할 수 있어야 하며 이를 도시라는 사회적 공동체에 **수소를 에너지 매개체(carrier)로 에너지의 생산-저장-활용-공유가 가능한 플랫폼을 구축**하는 것이 수소도시의 설계 개념

- 사용자 수용성 : 경제성이 비교적 부족한 수소에너지를 공급하기에는 사용자와의 괴리가 커서 이를 극복하기 어려움. 복지적인 측면에 대한 강조와 이에 대한 사회적 인식도 만족이 가능한 플랜 제시 필요
- 실질적인 산업 생태계 부재 : 사업화 모델 부재로 인하여 경제성 확보가 가능한 시장 창출이 불가능
- 확실한 대안으로서 도시라는 생태계 내 수소에너지의 결합성을 가지는 것은 시너지 효과를 일으킬 수 있음
- **도시에서 구성되는 수소 생태**는 수소에너지 플랫폼을 통해 에너지 생산자와 소비자의 경계가 자연스럽게 허물어지고 에너지의 생산-저장-활용-공유가 ICT 기술과 에너지 인프라 기술의 융합을 통해 달성되어 미래 에너지 패러다임을 구현 할 수 있음

□ 기술개발 방향성

○ 수소경제

- 탈탄소 친환경 에너지패러다임의 정립
- 주거환경에 필요로 하는 전기·열 생산 등 주요한 에너지원이자 수송용 에너지원 등으로 수소를 사용하고 이를 매개로 에너지의 생산, 저장, 공유가 가능한 사회 경제적 시스템
  → 국가경제, 사회, 국민생활 전반에 근본적 변화 초개
- 우리 정부도 2019년 1월 수소경제 활성화 로드맵을 발표하여, '수소경제'를 혁신성장의 새로운 성장동력이면서 친환경 에너지의 원동력으로 인식하고 2040년까지 수소경제 활성화를 위한 큰 정책 방향성과 목표 및 추진전략 등을 수립함

○ 수소도시의 구축

- 수소도시는 수소경제라는 새로운 미래에너지 패러다임이 구현된 미래 청정에너지 기반의 생활 환경
- 우리 정부도 3대 혁신성장 전략투자(2018.8.13. 기획재정부)인 **수소경제의 조기 구현 모델**로 도시 내 주거·교통·산업 등 전분야에 수소가 적용되는 **수소 시범도시 인프라 기술개발 및 실증** 강조
- 수소경제 시대의 수소도시는 과거의 화석연료나 원자력과 같은 에너지 생산자와 소비자가 구분되지 않는 **에너지프로슈머의 개념 도입**

○ 수소경제 시대의 수소도시의 역할

- **재생에너지원 및 기존의 전력/가스 그리드 등을 통합적으로 활용한 에너지 활용 시스템**을 구축하고 에너지 수요에 따라 최적 에너지 포트폴리오를 구축할 수 있는 ICT 기술 기반의 에너지 생태계 구축
- 에너지 매개체(carrier)로서의 수소를 기반으로 **에너지의 생산, 저장, 공유가 이루어져 에너지 생산자와 소비자의 경계를 허물고 분산발전의 효율성을 극대화하여 에너지 안보 강화 및 자립화**에 기여
- 청정 에너지인 수소 에너지를 바탕으로 온실가스 감축, 미세먼지 저감에 기여하여 **친환경적 도시환경 조성**
- 미래 에너지 패러다임으로의 전환 단계에서 수소 에너지 시스템의 **안전성 확보와 시민들의 수용성**이 중요

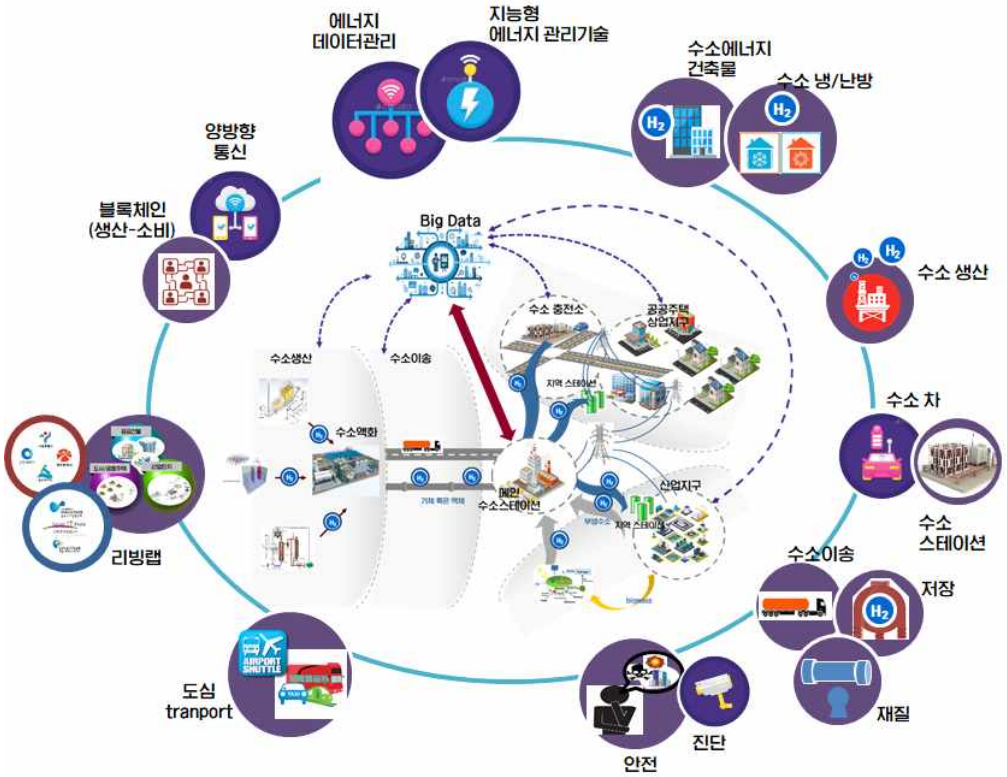


그림 5.12. 수소 도시 컨셉

○ 기술개발의 방향 : 도시 내 적용가능한 신재생에너지와 ICT 기술을 연계한 스마트 수소에너지 도시의 모델을 제안하여 수소 기반 청정에너지 인프라의 구현과 보급확대를 목표로 함.

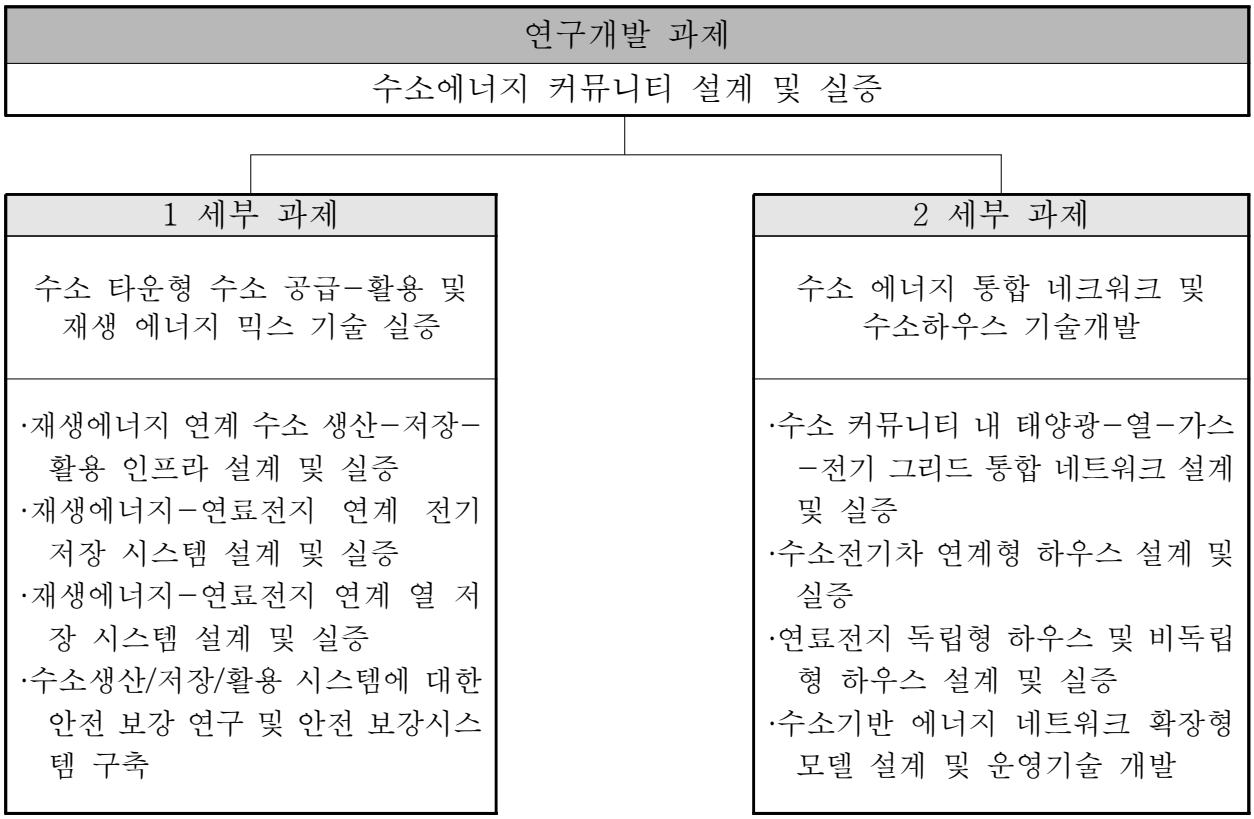
- 도시 내 재생에너지 및 전력/가스그리드 등의 연계·활용이 가능한 수소 생산 주거모델 개발 및 시스템의 실증
- 수소의 생산, 저장, 공유 및 활용이 가능한 수소커뮤니티 구축을 플랫폼 및 실증 시스템 기술 개발
- 도시 내 상업 및 공동주택 등에 적용가능한 수소도시 모델 설계
- 수소 시범 도시에 시민 참여형 리빙랩 구현으로 안전성 검증 및 수용성 제고
- 수소도시 모델 개발을 위해서 각 단계별 사회환경, 기술, 경제성 등에 대한 검토가 필요

2. 연구목표

○ 수소 시범도시 적기 구축('22년)을 위한 국산화 기반의 도시 인프라 기술개발

- 도시 내 신재생에너지 연계·활용이 가능한 수소 생산 저장 공유 기술개발 및 수소도시 확장을 위한 도시설계 기술 개발
- 기존 도시 에너지인 전력 및 가스그리드 연계형 수소 공급 시스템 및 활용 기술 개발 및 실증연구
- 국산화 기반의 수소 시범 도시에 시민 참여형 리빙랩 구현 및 안전성 검증

3. 연구단 구성 및 주요내용



○ (1세부) 도시형 수소 생산-저장-공유 시스템 기술개발

- (목표) 도시 내 수소 생산-저장-공유를 통한 에너지 프로슈머형 수소 통합 시스템 개발 및 실증(연간 에너지 자립률 100% 달성)
- (개발기술) 건물 내 신재생에너지 연계 수소 생산기술, 안전한 수소 저장 기술 및 IoT 기술을 이용한 수소 공유·활용 기술

○ (2세부) 에너지 통합 네크워크 및 하우스 타운 기술개발

- (운영모델) 낮 동안 태양광 등으로부터 생산된 재생에너지로 수소 시스템내에서 수소를 생산하고, 저장된 수소를 활용하여 네트워크를 통해 밤 동안 주택에 전기 및 열 에너지 공급
- (목표) 재생에너지와 기존 전력 및 가스 등 다양한 에너지 그리드의 통합 네크워크를 구현하고, 이를 구성하는 단위 유닛으로 수소를 활용하는 에너지 하우스 타운(에너지자립률 130%) 개발
- (개발기술) 커뮤니티 내 태양광, 열, 가스 및 전기 등 에너지 그리드의 통합 네트워크 기술, 재생에너지 생산과 수소로부터 생산된 에너지를 활용할 수 있는 하우스 개발, 개발된 수소 타운 운영 결과를 통한 도시 전체 확장 설계 및 운영기술 개발

그림 5.13. 수소 에너지 하우스 컨셉

4. 소요예산

□ 과제 총연구비 : 17,362 백만원(정부 17,362 백만원/민간 미정)

[백만원]

구 분	총연구비	’20	‘21	‘22	‘23
정부투자 실적·계획	17,326	2,000	7,213	5,741	2,372

□ 총 2개 세부과제로 구성한 연구단 (1, 2 세부 모두 산학연으로 구성)

[백만원, %]

구 분	총연구비	`20	‘21	‘22	‘23
1세부	8,456	1,000	3,413	3,011	1,032
2세부	8,870	1,000	3,800	2,730	1,340

제 4절 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술 개발

1. 기술개발의 개요

□ 필요성

○ 수소 버스 및 수소를 연료로 이용한 대형 운송수단은 수송부문의 탈탄소화를 이룰 수 있는 가장 실용적인 것으로 인식되고 있으며 이를 유럽, 일본, 미국 등은 실증을 통해 그 가능성을 확인하고 장기적으로 대중 교통정책으로 활성화를 하는 추세임.

- 해외의 대중교통 수소버스 보급 사례와 계획에서 `20년 초 수소버스의 초기 보급이 활성화되고 2030년대에는 본격적인 수소버스 보급이 확대될 것으로 예상
- 국내 수소버스의 개발이 완료된 상태이며 이를 시범보급 중이나 버스의 경우 대형 차고지나 계류지를 중심으로 50대/day 이상의 버스에 대한 연료공급이 이루어져야 하며 이를 경제적, 효율적으로 공급할 수 있는 시스템의 설계와 이의 검증이 필요
- 지역적인 에너지 환경에 맞는 대용량 수소의 공급 기술개발과 함께 IT와 접목한 버스와 충전소의 운행 접목이 필요

○ (경제적 요인) 현재의 수소버스충전시설은 승용차에 대응하는 수소충전시설을 이용하는 방식이며 수소 충전 비용을 낮추는데 한계점이 있음.

- 다수의 수소버스를 충전하는 비용을 낮추기 위해 수소버스의 충전방식과 압축기와 저장용기의 조합에 대한 최적화 연구가 필요하며 이를 통해 건설비용을 절감이 주요함.
- 특히 이러한 조합에서 건설비용과 별도로 운영비용은 전기, 천연가스 등의 사용하는 에너지 비용에 따라 수소의 공급과 수소의 충전에 소요되는 비용의 차이가 국내 상황과 해외의 상황이 다르며 이에 대한 최적화가 필요함
- 수소의 공급 비용을 절감할 수 있으며 용량별 대응이 가능한 모듈화 설계를 통해 요소부품의 단순화와 조달가격의 저감이 요구되며 고효율의 수소생산방식에 대한 기술개발이 요구됨.

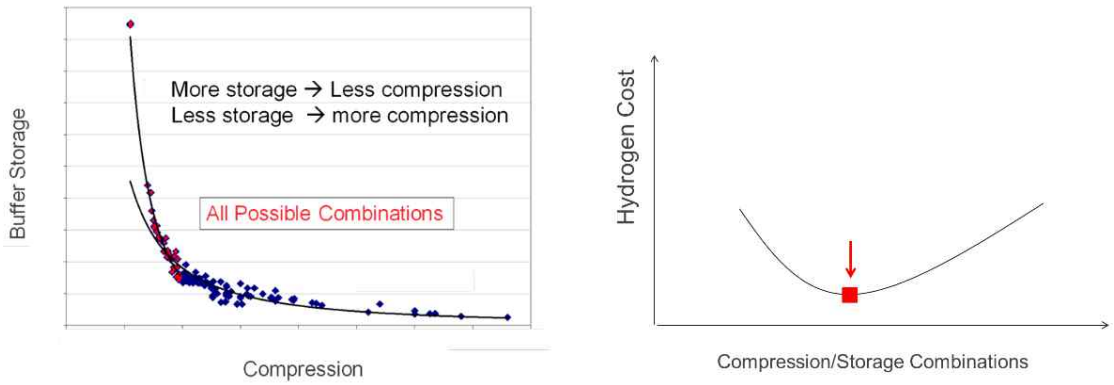


그림 5.14. 수소 저장용기와 압추기 구성에 따른 수소충전가격의 상관관계

○ (환경적 요인) 수송부문에서 온실가스의 저감은 기존 내연기관의 효율화나 hybrid화로는 한계가 있으며 친환경연료로의 전환이 가장 현실적이며 이중 연료의 소모량이 크고 수송인원과 물량이 많은 버스의 수소버스로의 전환이 가장 효과적임.

- 유럽의 여러 나라가 내연기관 자동차의 생산과 이용을 장기적으로 중단할 계획이며 수송수단의 전기화 이루어 질 예정
- 대형차량 특히 버스는 수소연료의 에너지 밀도가 높아 장거리 이동이 가능하며 온실가스저감과 차량의 운행비용에서도 장기적으로 장점
- 수소버스의 상용화를 위해서는 수소충전비용의 저감과 친환경수소의 이용이 필요하며 이를 위한 대규모 수소충전시스템의 최적화 기술과 친환경적인 수소생산 기술의 개발이 진행중이거나 계획 중에 있지만 일부에 국한됨
- 따라서, 대중교통에서 환경부담을 저감시키는 동시에 비용의 저감을 위한 기술개발이 필요하며 친환경적인 수소공급 기술을 확보하여 장기적으로 해외 시장에서 수소버스와 함께 대중교통 인프라 사업에 대한 미래시장 대응 요구

○ 수소활용 기술 중 국내 기술로 강점을 갖고 있는 수소버스와 연계한 수소 생산 및 저장, 충전 시스템을 국산화 패키지화하여 해외 시장 선점 추진 필요

- 천연가스 및 신재생에너지와 연계한 수소 생산 여건이 우수한 중동 대상으로 수소기반의 교통시스템 구축 및 검증을 통해 미래 시장 선점 가능
- 2030년 이후 해외 현지에서 국산화 기술 기반의 수소 생산 후 국내 운반을 위한 수소생산 해외 거점을 위한 초석 마련 (중동의 경우, 태양광 발전 전력 공급 가격이 20원/kWh 수준)

- 해외 가혹(고온다습 등) 환경을 고려한 맞춤형 수소버스 및 충전시스템 실증을 통해 수소교통팩키지 사업 완성도 제고, 홍보효과 극대화

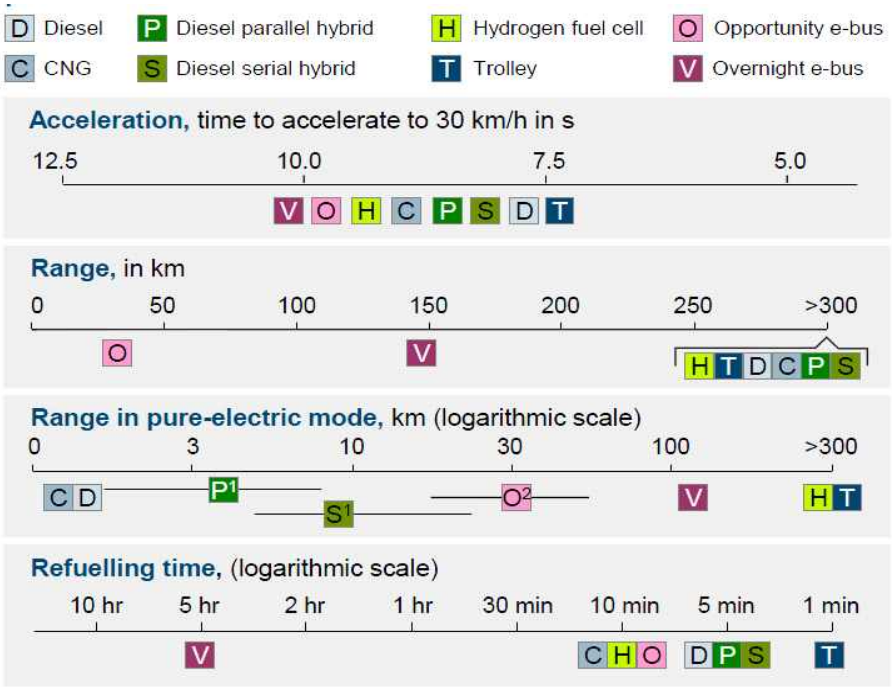


그림 5.15. 수소버스와 타 차량의 운행거리 비교

□ 기술개발 방향성

○ (기술 검증) 국내에서 최적 설계된 수소버스 충전시스템의 핵심 기술 부분과 운영을 국내에서 1차 검증

- 상대적으로 기술성숙도가 낮고 운영비와 설치비를 가중시키는 수소 공급부분은 단위기술로 검증
- 이후 고온 환경의 해외에서 보완하여 적용하는 실증을 통해 기술적으로 검증(비용저감 및 불확실성을 제거)

○ 해외 실증 전 해외 수요자에 대한 홍보 및 시장 진출 목적면에서 국내 실증 시스템 검증을 통한 해외 추가 검증

2. 연구목표

□ 연구단 목표

경제적인 메가 수소 충전 시설의 구축, 안전성확보, 운영을 통한 한국형 수소 대중 교통 인프라 모델 기술 개발과 이의 해외 실증을 통해 해외 시장 진출 토대 마련

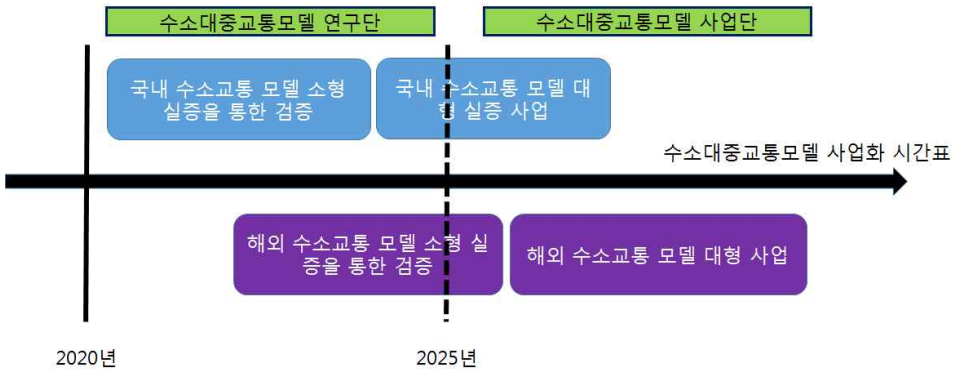


그림 5.16. 해외 수소 교통 실증 모델 개발 전략

□ 세부 목표

○ 수소 충전 비용 (44,263원/kg ==>3천원/kg), 수소충전소 가동율 >95%

○ 50 대/day의 수소버스 충전을 달성하기 위해 2대 동시 충전, 수소버스 5대 연속 충전이 가능한 시스템 설계

- 국내 실증은 소형시스템에서 2대 연속 충전과 2대 동시 충전이 가능한 설비 구성을 하여야 함.
- 수소버스충전 프로토콜 개발 및 충전 속도 향상을 위한 충전 최적화 및 실증

○ 500 kg/day 이상의 대형 수소 제조, 충전 시스템의 설비 및 안전 규격 제시

○ 400 Nm^3/h 급 모듈화 설계

- 1,500 kg/day의 수소공급시스템 설계 및 시스템 단가 100만원/kW이하

□ 해외 적응형 수소버스 및 수소충전소 교통 모델 실증

○ UAE 등의 현지에 수소버스와 수소충전시설, 수소생산시설을 패키지로 인허가를 획득하여 설치하고 운영하여야 함.

3. 연구단 구성 및 주요내용

○ (1세부) ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발

- (목표) 수소 대중 교통시스템의 국내 수소 시범도시와 중동 현지 구축·운영

※ 단계별 추진 전략: (1단계: 3년) 국내 기술개발 및 시범실증 3년→ (2단계: 2년) 중동 실증

- (개발기술) 국내·외 대용량 수소 교통 모델 설치, 운영 및 관리 기술 검증, 현지 맞춤형 수소 충전 시설 개발 및 실증 기술, 현지 수소 생산 거점화 전략 개발

○ (2세부) 버스차고지 대응 메가 스테이션 설계 및 실증 기술 개발

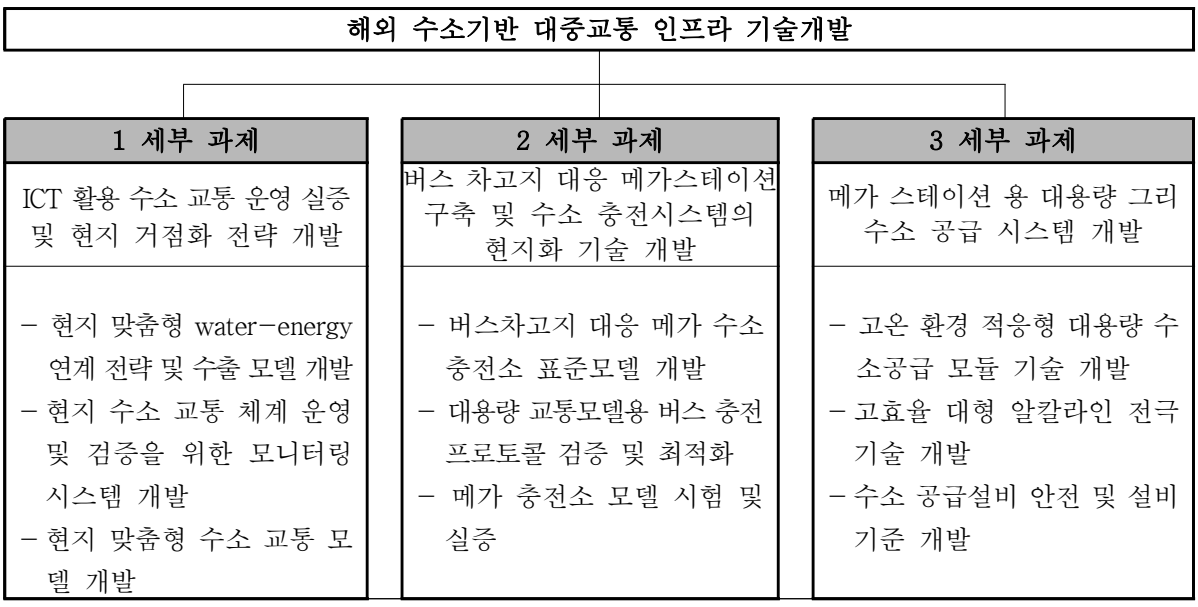
- (목표) 50대 이상 규모 메가 수소 충전시설의 경제적 효율적 시스템 설계와 국내 및 해외 실증을 통한 수출형 기술 개발(수소충전가격 3천원/kg이하)

- (개발기술) 메가충전시스템 표준 모델 설계, 다수버스 충전 프로토콜 검증 및 개선, 수소버스 연계 메가 충전소 모델 개발

○ (3세부) 메가 충전소용 대용량 수소 생산·공급 시스템 개발

- (목표) 고온 환경 적응형 모듈화 수소생산·공급 시스템 개발(400 Nm^3/h이상), 수소공급 시스템 효율 개선을 통한 경쟁력 강화(효율 75%이상)

- (개발기술) 모듈화를 통한 대용량 수소 생산·공급 기술 및 해외환경 맞춤형 기술 개발, 수소 버스 교통시스템과 연계한 통합 기술 구현



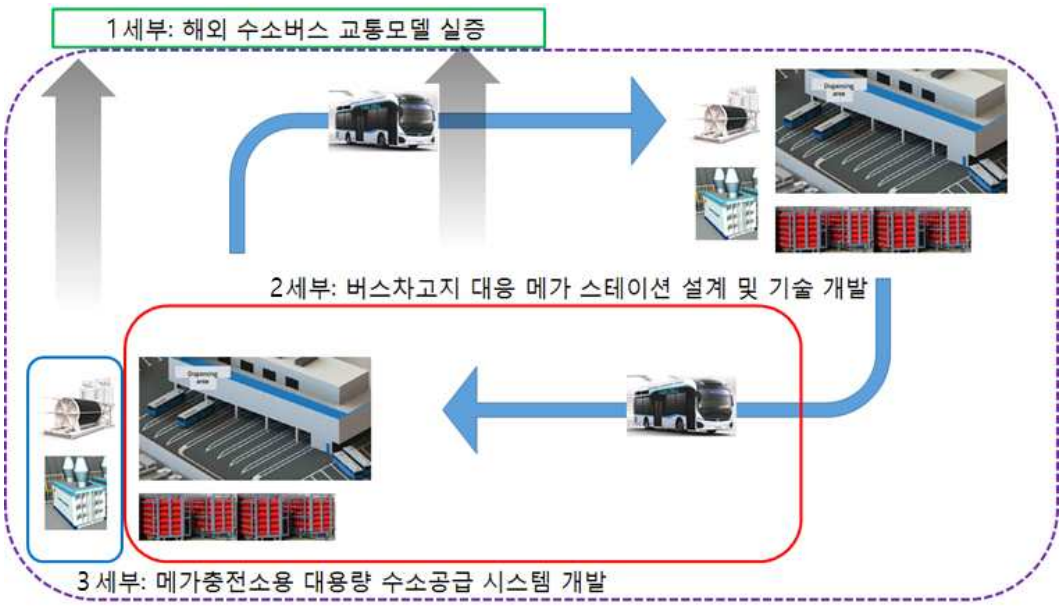


그림 5.17. 각 세부과제별 연계 방안

4. 소요예산

□ 과제 총연구비 : 37,444 백만원 (정부 28,083 백만원/민간 9,316백만원)

□ 총 3개 세부과제로 구성 (1, 2, 3세부 모두 산학연으로 구성)

[백만원, %]

구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부	정부출연금	7,083 (75%)	502	859	1239	2,119	2,364
	기업부담금	1,694 (25%)	167	286	413	706	788

구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2세부	정부출연금	11,000 (75%)	1,500	2,000	3,000	3,000	1,500
	기업부담금	3667 (25%)	500	667	1000	1000	500

구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
3세부	정부출연금	10,000 (75%)	1,500	2,000	2,500	3,000	1,000
	기업부담금	3333 (25%)	500	667	833	1000	333

5. 중동지역과의 협력 가능성

□ UAE 지역과의 협력 사항

○ 중동의 대표적 국가인 UAE와의 협력은 과거부터 지속적으로 구축되어진 관계로 이명박 대통령 이후 현재까지 다양한 분야에서 협력 관계를 구축함

- (2009.12) 이명박 대통령과 UAE 국왕의 정상회담을 통한 UAE 원전 및 군사원조 협력 체결
- (2015.03) 한-UAE 발전, 플랜트, 문화 등의 4대 분야 협력 확대를 위한 MOU 체결

※ 후속조치 사항으로 '16.06. 중동맞춤형 저에너지 해수담수화 플랜트 기술 개발 연구단 (KORAE 연구단) 발족 및 현재 진행중

- (2019.02) 한-UAE 고위급 MoU (소통채널 활성화, 바카라원전, 국방/방산 분야 협력)

※ 한-UAE 수소도시분야 협력 MoU 체결이 동시에 진행됨

- (2019.09) 한전과 UAE의 제3국 원전 공동진출 MoU 체결

○ 한-UAE 협력을 위한 공동 연구개발사업으로서 대표적인 중동맞춤형 저에너지 해수담수화 기술개발 연구단 (KORAE 연구단)이 `16.06 론칭 이후 현재까지 운영 중

- 초기 기획단계에서 추진된 한-UAE간 물산업 협력이 발전하여 공동 R&D 사업으로서 론칭
- 중동 협력 R&D 사업으로서 KORAE 연구단을 벤치마킹할 필요가 있음
- KORAE 연구단 추진 과정

· (`15.04) UAE 대표단과 사전 미팅 추진
· (`15.08) KORAE 연구단 기획 시작
· (`15.09) UAE와의 업무협의 (연구 참여방안 논의)
· (`15.11) 제주도에서 기획 과제에 대한 양측 공동 연구협력에 대한 실질적인 내용 협의
· (`16.01) UAE의 아부다비에서 HoT (Heads of Terms) 체결로 공동연구 확정
· (요약) 본 기획 시작이후 기획팀과 4차례 업무 미팅을 통하여 연구협력 확정

※ 본기획 전 사전 미팅을 통해 상호 의향 확인

□ UAE의 수소에너지에 대한 관심도

○ UAE 지역은 `11년부터 5년간 100 MW씩 총 500 MW의 태양광발전을 계획함

○ `18년 UAE DEWA 태양광 발전 플랜트의 전력 단가를 0.024 $/kWh로 계약 체결

○ `19년 세계에서 가장 큰 태양광 발전 플랜트 시작

- (노르 아부다비 발전플랜트) 9억$ 투자 및 320만개의 태양 전지판을 통해서 1.17 GW 생산
- 90,000명 수요, 탄소배출양 1,000,000 톤 저감, 200,000 대의 자동차 운영가능한 수치

○ `1UAE의 마스다르는 수소 발전소를 계획하였으나, 경제성 미비로 연기되고 있음. 단, 경제성 확보시 이에 대한 플랜트 시작을 지속하고 있음

그림 5.18. UAE 수소 발전 플랜트 개요

- 현재 이 계획은 `19년 2월 발표된 두바이 solar-powered hydrogen plant와 연계 예정으로 발표됨
- (주요 내용) 두바이는 태양에너지 전환 수소 플랜트에서 생산된 수소를 활용하여, 저장, 전기 재생산, 운송 등으로 활용할 계획이며, 단계별로, `20년 기준 7%, `30년 기준 25%, 50년 기준 75%의 에너지를 대체할 계획

□ UAE의 수소 도시에 대한 의향서

○ UAE와의 MoM (그림 4.38)에서 양측간 공동연구에 대한 협의 및 동의

- `20년을 기준으로 수소도시에 대한 연구 협력 시작을 목표로 내용을 협의할 것을 동의
- ENGIE 사가 이러한 수소 협력방안에 적극 참여를 희망하여 MoM에 공동 협의
- (핵심연구내용) 대중교통으로서 수소 버스의 아부다비와 두바이간 운행실증사업을 추진과 이를 위한 기술적/경제적인 기술 개발을 주요 골자로 협의할 것을 동의

○ ENGIE 사는 이러한 사업에 대해 비공식적으로 연구성과에 대한 투자 의향을 제안

- ENGIE 사는 프랑스의 대표적인 전기 유틸리티 회사로 에너지 전환, 발전, 에너지 유통, 천연가스, 원자력, 재생에너지 및 석유 분야에서 활동
- `18년 기준으로 직원수 약 16만명, 매출액 630억 유로 (약 82조 6000억)의 초거대 회사임

※ 다국적 기업으로서 SUEZ 사와 Gaz de France사의 합병으로 만들어진 초 거대사임

□ UAE와의 협력 가능성 분석

○ UAE는 신재생에너지에 대한 지속적인 산업화를 위해 청정에너지 2050 등을 발표하여 대형 투자와 함께 태양광 플랜트를 건설하고 있음

○ 신재생에너지로서 태양광 전력 플랜트는 이송과 저장을 위한 수소 전환과의 조합이 요구되고 있으나, 실질적인 기술력은 부족함

○ 따라서, 두바이 solar-powered hydrogen plant도 미국계의 Siemens의 기술력을 동원하여 추진 중임

○ **(최종 목표)** SIemens의 기술력은 현재 약 5.5 kWh/Nm^3 H_2 수준으로 세계 최고의 수준과는 비교적 거리가 있음 (약 4.5 kWh/Nm^3 H_2). 따라서 국내 R&D 목표를 5.0 kWh/Nm^3 H_2 이하로 조절할 경우 충분히 UAE에 진출할 가능성이 높음

6. 중동지역과의 협력 모델

□ UAE 지역 협력 모델 (그림 4.22 참고)

○ UAE 지향 방향인 대중 교통을 중심으로 하는 수소 공급 모델로서 방향성을 구축함.

- UAE는 저렴한 태양광 발전을 중심으로 `50년까지 청정에너지 공급을 계획하고 있으며, 이 계획의 핵심은 수전해를 통한 수소의 생산과 에너지 저장임
- 생산된 수소는 크게 발전과 자동차 연료 공급의 카테고리로 분류되고 있음. 그러나 UAE의 자체적인 관련 기술은 부족하기 때문에 전세계적으로 특히 일본, 미국의 기술을 도입하여 프로젝트를 추진
- 현대자동차를 중심으로 기술력을 축적한 대중교통 특히 버스 위주의 실증사업을 구축하는 방향으로 진행
- 토요타에 의해 승용차 및 승용차용 수소 스테이션 설치에 의한 실증사업은 실기하였으며, `19년 1월에 에어리퀴드, 토요타 그리고 칼리파 대학간 수소 승용차의 가능성 평가를 시작함

※ 토요타는 '18.01 아부다비에 수소스테이션 설치 후 Mirai를 통해서 실증운영 중

○ 아부다비와 두바이를 연결하는 도로에 각각 수소 버스용 수소 스테이션 설치와 수소 버스 운행을 통한 고온 등에 대한 수소 교통 시스템 적용 가능성평가

- 아직까지 수소 버스의 충전프로토콜과 단시간내 충전이 가능한 연속 충전시스템 등에 대한 개발이 부족하므로 이를 중심으로 UAE 내 설치와 운영을 통해 실증사업을 세계 최초로 실시
- 수소 버스는 현대자동차의 4세대 버스를 현물 혹은 현금으로 구입하고 현지 운영을 통해 혹독한 기후에 대한 수소 대중교통 시스템 가능성을 평가함
- (기술개발) 고속, 대용량 수소 충전시스템을 개발하고, 현지의 고온과 모래바람 방지 시스템, 연속 충전 기술 등의 핵심 원천 기술 중심의 개발

○ UAE와의 장기 협력을 위해 물인프라와 태양광에너지 연계기술 및 현지 수소 생산 플랜트 실증을 위한 핵심원천기술 개발

- 국내 수소경제 활성화 로드맵 상 `40년을 기준으로 수소에너지 비중이 높아질 것으로 예측되는 바, 장기적인 관점에서 해외 수소 생산을 위한 기술을 위한 핵심 원천기술 개발이 요구됨

- UAE 태양광 플랜트와 조합을 통한 수소 생산 플랜트를 건설하기 위해 물과 에너지간 연계 기술을 개발함
- UAE는 물의 생산이 대부분 해수담수화기술에 의해 이루어지고 있으므로 단가적인 측면에서 불리하며, 생산수에 대한 활용이 상대적으로 불리함. 따라서 다양한 물의 재활용 측면을 강조하여, 해수, 농축수, 하·폐수 등을 활용하는 방안을 적극 검토
- 수전해 플랜트와 수처리 플랜트 혹은 해수담수화플랜트의 연계를 통한 시스템화를 구축하여 경제성과 환경성을 동시에 추구
- 장기적인 관점에서 수소 생산 및 저장 플랜트의 조합을 고려한 소형 파일럿을 구축하여 수소의 해외 생산 가능성을 점검

ㅇ `19.09월에 체결된 원전에 대한 국내기술과 UAE의 제 3국 동시 진출에 대한 벤치마킹을 통해 수소 플랜트 수출을 전략적으로 추진하는 협력 모델을 구축

ㅇ U상세한 기술개발 내역은 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술개발 연구단 기획보고서에 상세하게 기술함

제 5절 장기모델과 본 기획의 방향성

1. 기술개발의 개요

□ 본 기획의 필요성

○ 현재 국내 수소경제활성화를 위한 국산화 R&D 기술 현황은 `18~`19년에 발주되어 `21년~`22년에 종료되도록 구성됨

- 산업부에서 추진중인 국산화 기술 개발 현황은 충전소 관련하여 융합스테이션 개발이 `21년 종료 (`16~`21)이며, 과정부의 수소에너지 혁신기술개발이 `22년 종료 (`19~`22), 국토부의 수소 액화기술개발이 `23년 종료임
- 현재 수소 경제활성화를 위해 직접적으로 추진되는 기술 중 상용화에 직접 활용 가능한 것은 융합 스테이션 개발이 유일하나, 실질적으로 이와 무관하게 HyNet을 통해서 기술적용 예정임
- 이는 사업과 R&D를 통한 기술개발 성과의 융합이 원활하지 못하다는 직접적인 증거이며, 급변하는 수소경제에 대한 정세를 기술개발 프로그램이 반영하지 못하는 것이 결정적인 이유임

○ 해외의 수소와 관련된 선진국의 움직임과 수소 경제 활성화 로드맵 목표달성에 대응하고자 하는 전략이 추진되어야 함

- 국내 수소공급 업체는 덕양이 수소트레일러를 이용하여 공급하나, 부생수소 생산 업체로서는 린데와 에어 리퀴드 등 외국계기업이 포함되어 있음

· 실제 유통은 덕양산업이 1위이나, 생산과 유통을 동시에 하고 있는 곳은 외국계 린데와 에어리퀴드 사 뿐임

· 전체 유통량 311,500 ton/년 중 50,400 ton/년이 외국계 기업에서 생산하는 것으로 약 16.2 %의 수소 유통량임.

· 수소 생산기술 자체는 천연가스 추출을 활용하는 것도 유일하게 외국계 기업뿐이며, 나머지는 소금물 분해와 나프타 분해 등임

· 이는 수소 경제가 본격적으로 시작될 경우 더 심화될 것으로 예상됨

- 초기 단계에서의 선진기술 추격형 탈피를 위한 기술선도형으로의 전환을 위한 기술개발과 이를 위한 장기적인 기술 로드맵을 구축 전략 수립이 요구됨

· 수소경제 활성화 로드맵 목표 달성을 위해서는 경험 축적이 요구되며, 이를 위해서는 기술 개발과 실질적인 인프라 운영이 동시에 요구됨
· 기술개발 이후 이러한 인프라 설계, 시공, 운영 및 경험 구축은 해외 선진국에 비해 한걸음 뒤처지는 결과를 초래할 수 있음
· 따라서 2개의 전략이 동시에 추진되어야 하며, 이는 현재 수소경제활성화 기술 로드맵 수립과 함께 전략적 발맞춤이 요구됨

○ 선진국 기업의 기술과 자본에 대응할 수 있는 전략이 필요함

– 단기 수소활성화 로드맵 목표 달성에 대한 전략은 사전 기획을 통해서 정리되고 있으나, 장기적인 수소 수급, 수소 도시 인프라 구성을 위한 전략에 대해서는 장기적인 검토가 필요한 상황임

– 핵심적인 전략 추진 방향성은 수소 생산, 해외 수소생산 거점에 대한 선점, 수소수급체계를 위한 물류체계 및 ICT 기술 조합, 수소에 대한 안전성 확보를 위한 표준화 등에 대한 인프라 구축임
· 이러한 Keyword 는 타 부처에서 개발된 기술들의 검증에 대한 프로토콜과 함께 기준점을 제시하기 위한 전략적 keyword임

– (수소생산체계 구축) 자체 수소 수급을 위한 생산체계 구축에 대한 전략 및 필요 기술에 대한 깊이 있는 전략 로드맵 수립이 필요함
· `30년 기준으로 196 만톤/년을 제공하기 위해서는 천연가스 추출이나 혹은 부생수소 만으로는 부족한 상황에 직면할 수 밖에 없음
· 국내 생산을 위해서는 CCS와 신재생에너지 활용 기술 등 2가지의 기술적 개발 혹은 융합이 요구되나, CCS외 신재생에너지 활용은 환경적으로 높은 에너지 단가에 의해 어려울 듯 전망
· 따라서 수소 수급 체계의 핵심은 해외 수입 혹은 해외 거점 생산이 될 것으로 예측되며, 이에 대한 선점전략이 단기적으로 추진되고, 본 기획에서 장기적인 기술개발과 연계할 수 있는 로드맵이 도출되어야 함

– (수소공급체계 구축) 대용량의 수소를 장기적인 전망에서 국내에 배분하기 위한 기술적 로드맵이 요구됨.
· 이를 위한 물류도시 구축을 위한 기술 로드맵 구축이 필요하며, 이를 통해 단기적으로 도출된 지역 특화 도시 구축과 연계될 수 있는 인프라 구축을 위한 전략 로드맵과 함께 고려되어야 함
· 액화기술, 수소 선박기술을 포함한 이송기술, 고압 수소이송 파이프 라인, 700 bar이상의 고압 압축 기술 등이 요구되며, 이러한 기술 성능검증 전략을 추진

- 기술개발 로드맵과 수소경제 활성화 목표의 일치를 위한 수소 도시 인프라 구축 및 기술 검증 전략 수립

· 현재 수소경제활성화 로드맵은 단기 목표기간 `22년과 장기 목표기간 `40년 사이의 간격이 넓어 구체적인 기술로드맵 작성이 어려운 상황임

· 따라서 이러한 간극을 메우기 위한 수소도시 인프라에 대한 기술 로드맵 구축이 필요한 상황임

- 수소 인프라를 포함한 전체적인 안전성에 대한 확보를 위한 전략과 수소 사회 구축을 위한 주민수용성 확보 전략이 요구됨

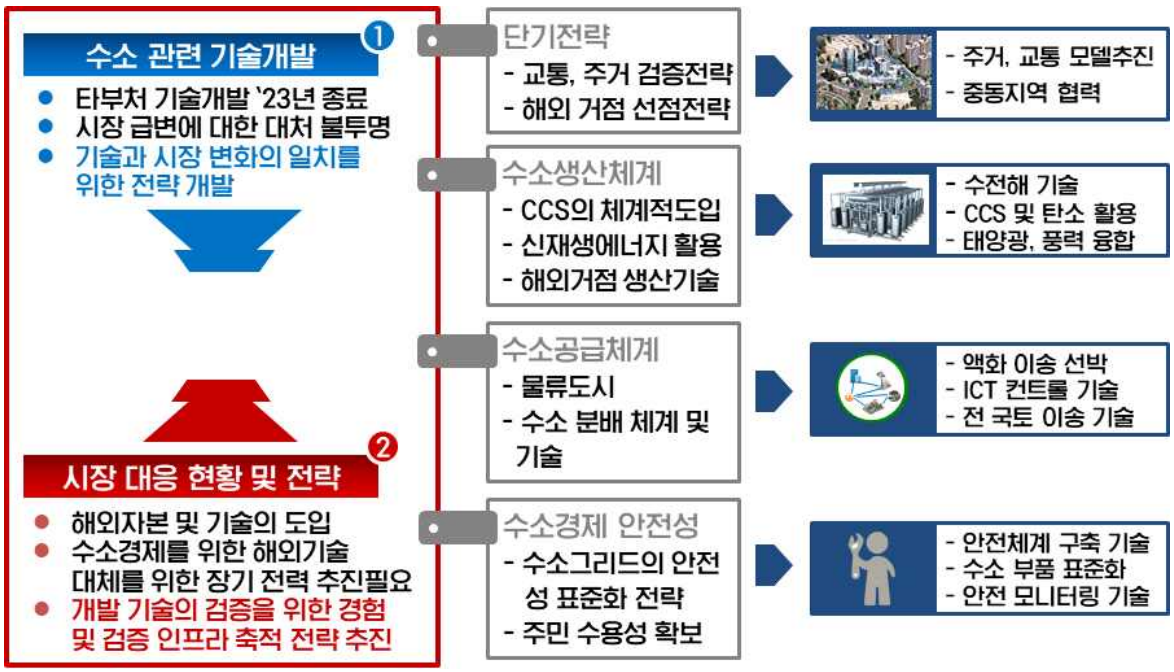


그림 5.19. 장기 기술개발의 전략적 타당성 및 기술적 방향성

□ 주민 수용성 확보를 포함한 다양한 관점의 기획이 필요

○ 수소경제 활성화에 핵심적인 부분은 일반 시민의 동참에 대한 것으로 이를 위한 전략을 확보하는 것이 성공여부를 가늠

- 일반 시민의 수소에 대한 견해와 이를 활용한 활성화 전략 수립

- 일반 시민의 참여를 위한 유인책 수립

· 캠퍼스 리빙랩 (학점), 수소차 (보조금), 수소연료전지 (보조금, 전기세 감면)등을 통한 시민의 참여 및 수소 경제활성화를 위한 주민 의견

- 일반 시민의 참여를 통한 의견 수렴과 이를 통한 안전성 확보 전략 수립을 통하여 시민의 동참 동력을 수립

○ 산업계 관점에서의 추진전략 확보가 필요

- 현재는 학·연의 관점에서 추진되는 경향이 높음

- 산업계에서 추진 중인 시장관점에서의 추진 방향과 학·연의 관점에서의 관점을 일치시킨 로드맵이 요구됨

· 수소 경제활성화 로드맵의 목표 달성과는 방향성이 다르게 추진되는 경향이 있으며, 이를 일치시키고자 하는 명확한 전략 수립이 요구됨

· 현재 HyNet은 수소충전소 100 기를 `22년 기준으로 도입하고자 하고 있으나, 수소경제 활성화 로드맵 상에서는 330개 추진 계획

· 부족한 220 여개에 대한 목표달성 불확실성 해소 전략 수립이 필요

그림 5.20. 장기 기술개발의 주민수용성을 위한 방향성

○ (시민 참여 유도 전략) 보조금 정책 외적으로 시민의 적극적인 참여를 위해 지역 발전 사업 동참 유도

– (주민 참여 사업 추진) 수소 연료전지 발전 사업 등을 추진시 지역 주민과 합작법인 (SPC) 등을 추진함으로써 사업에 대한 참여와 활용 전략을 추진

○ (정책 확대 검토) 다양한 신재생에너지 활용에 대한 의무화 제도 확대 검토

– (도시 건물내 수소 활용 의무화) 현행 공공건축물 27% 이상의 신재생에너지 설치에 대한 의무화 제도의 확대 실시

· 민간 건물에 대한 확대 설치 가능성을 정책적으로 검토

· 상대적으로 신재생에너지 비율 중에서 연료전지 보급에 대한 정책 강화를 통해 수소 경제 활성화 로드맵 목표 달성 강화 전략

– (도시 건물 신재생에너지 의무 설치 제도) 국가, 지자체 등의 공공기관이 신축, 증축 또는 개축하는 건축 연면적 1,000 m2 이상의 건축물에 대해 예상 에너지 사용량의 공급의무비율 이상 (`19년 기준 27%)을 신재생에너지로 공급토록 의무화한 제도

※ '04년 시행이후 지속적으로 제도 강화

· (신재생에너지 공급의무) `19년 27%, `20년 30% 등으로 매년 강화

○ (지자체 고시 확대) 서울시의 공공, 민간건축물 신재생 에너지 의무 비율 확대 고시처럼 각 지자체의 고시를 확대하도록 제도화 검토

– (서울시 녹색건축 설계 기준) `19년 1월 고시를 통해 정책 강화

· `15년 최초 적용 이후 매년 강화

· 민간 건축물에 대한 확대 적용

· 추가적인 인센티브 제도를 도입

표 5.2 서울시 고시에 따른 신·재생에너지 설치 비율

구 분		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23~
공공건축물		15%	18%	21%	24%	27%	30%	-	-	-
민간건축물	주거	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
	비주거	7%	7%	9%	9%	11%	11%	12%	12%	14%

– (벤치마킹) 각 지자체에서 서울시와 유사한 조례를 제정하여 민간 건물 등에 확대가 가능하도록 정책 추진

○ (주민 참여 우회 전략) 도심내 발전 설비 설치는 단시간내에 적용을 어려울 수 있으므로 이에 대한 주민 수용성 확대를 위해 해외 등에서 사전 안전성 검증이 후 국내 도입 등의 우회 전략 추진

- (중동지역) 중동 특히, UAE 등은 국내 수소 기술에 대한 관심이 높으므로, 공동 연구 협력을 추진함으로써 국내 기술의 안전성 등을 현지에서 확보하고, 국내 기술 도입 등을 추진

※ 수소 대중 교통 등의 수소 스테이션에 대한 저장기술 안전성 확보 및 시범사업 이후 국내 도시에 적용하여 주민 수용성을 완화

- (선진국) 유럽, 미국과의 공동 연구 등을 추진함으로써, 선진국과 합작에 의한 안전한 기술로서 홍보 전략이후 우회적으로 추진

2. 안전성에 대한 심도있는 논의가 필요함

□ 수소 관련 안전사고 현황

○ 노르웨이 수소충전소 폭발

- 사고일시 : 2019년 6월 10일
- 장　　소 : 노르웨이 샌드비카(Sandvika)
- 사고내용 : 폭발 및 화재 발생
- 피해규모 : 인명피해 없음, 사고 시 인근 차량 에어백 터짐
- 원인 : 저장용기 근처에서 수소 누출로 제트 화재에 의한 폭발, 화재가 발생 · nel사가 유럽에서 운영 중인 유사 충전소 10개소 일시 운영 중단

그림 5.21. 노르웨이 수소충전소 폭발 현장

○ 미국 수소가스 저장탱크 폭발사고

- 사고일시 : 2019년 6월 1일
- 장　　소 : 미국 산타클라라
- 사고내용 : Air Products and Chemicals 社 석유화학단지 내 가스 저장탱크, 튜브트레일러 폭발 및 화재 발생
- 피해규모 : 인명피해 없음,

○ 강원도 테크노파크 강릉벤처 수소탱크 폭발사고

- 사고일시 : 2019년 5월 23일
- 장　　소 : 강원도 강릉시 대전동 강원테크노파크
- 사고내용 : 수소탱크 3기 폭발 등
- 피해규모 : 2명 사망, 6명 중상, 약 340억 재산 피해
- 원인 : 저장용기 근처에서 수소 누출이로 제트 화재에 의한 폭발, 화재가 발생

그림 5.22. 강원도 수소탱크 폭발 현장

□ 수소의 안전성 및 규제 기준의 방향성

○ 수소는 대중들에게 위험한 에너지원으로 인식되어 있으므로 이를 향후 에너지원으로 널리 사용하기 위해서는 수소에 대한 대중 수용성을 확보하고 안전성 및 규제 기준을 철저하게 세울 필요가 있음.

○ 사회적 통념과는 달리 수소에너지는 타 에너지원과 비교했을 때 폭발 시 부피당 에너지 크기가 매우 작고 지구상에 존재하는 모든 물질 중에서 밀도가 제일 작아서 유출 시에 대기 중으로 방출이 쉽게 되므로 타 에너지원에 비해 상대적으로 위험성이 적다는 것을 다양하게 홍보하고 교육할 필요성이 있음.

○ 그러나, 고압 용기 (~700 bar)를 통해서 보관해야 하고, 인화가 쉽게 일어날 수 있다는 점에서 철저한 안전 기준이 마련될 필요가 있음

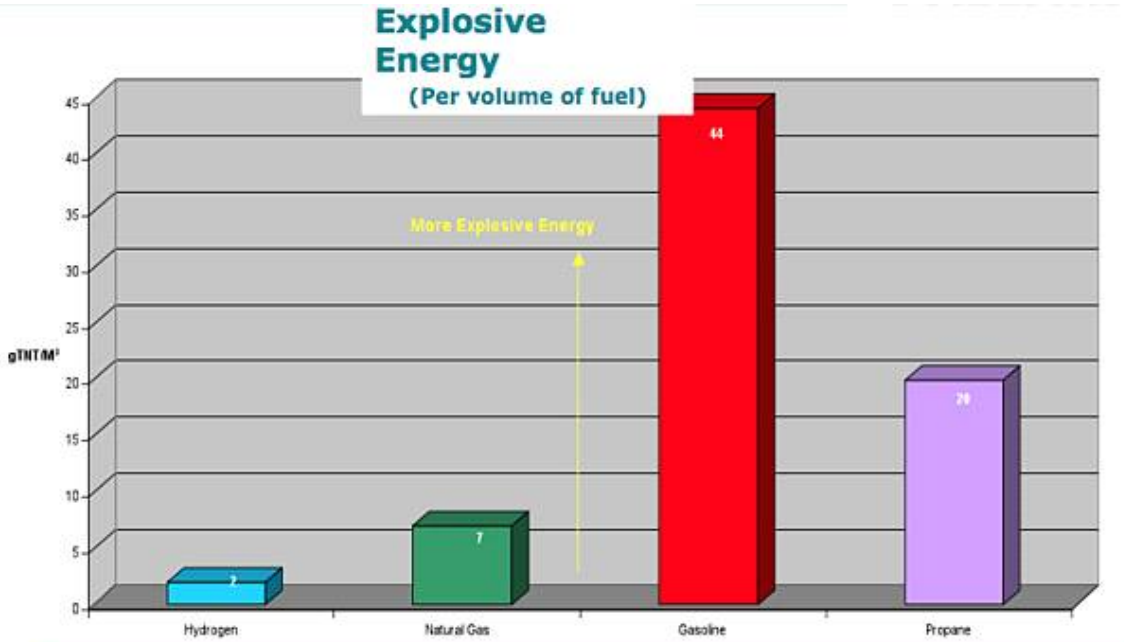


그림 5.23. 수소와 타 에너지원의 폭발 시 부피당 에너지 크기 비교, Ballard

○ 수소에 대한 대중의 인식을 바꾸고 주민 수용성을 높이기 위해서는 수소에너지 전주기 시스템에 대한 신뢰성 높은 안전 기준 및 안전 관리 기술이 요구됨.

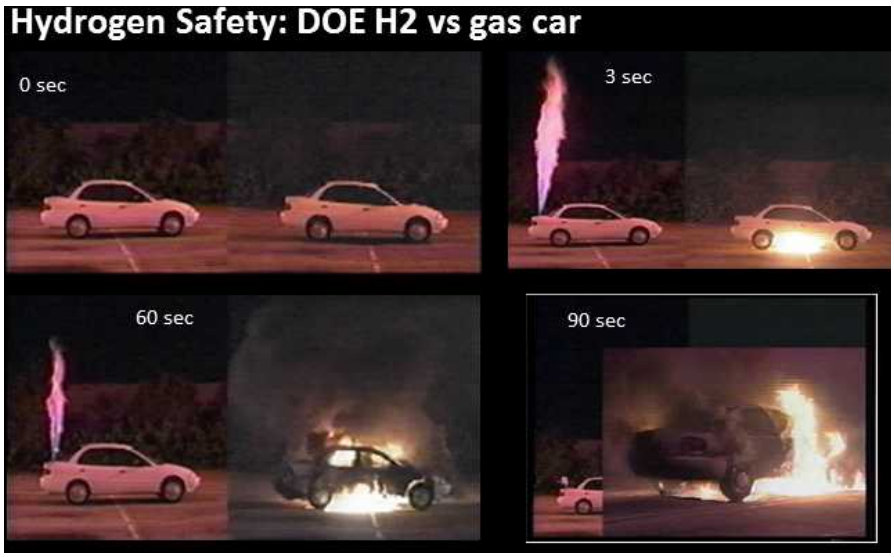


그림 5.24. 수소 연료전지차와 LPG 자동차의 폭발 비교, DOE

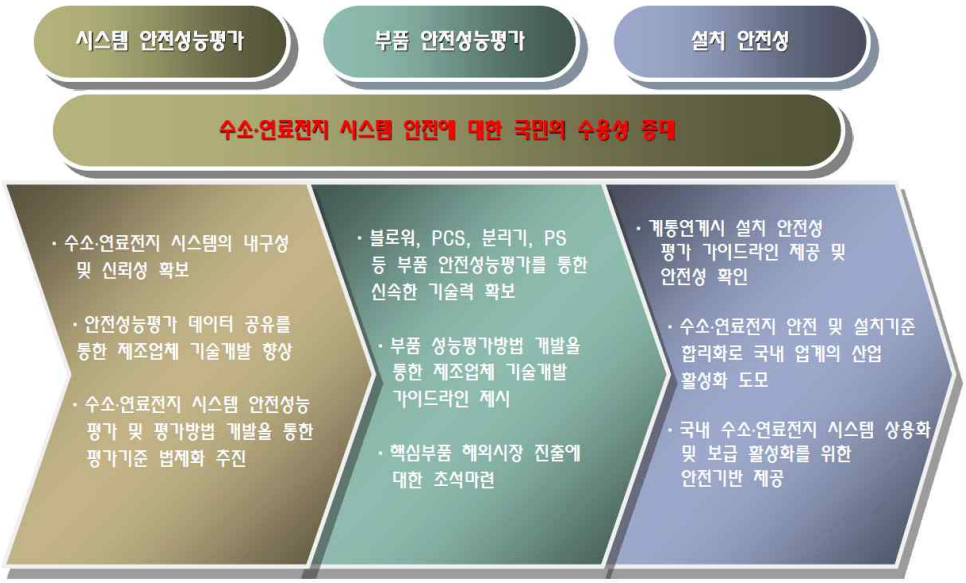


그림 5.25. 수소에너지 전주기 시스템의 안전기준 확보를 위한 방향성 (한국가스안전공사)

□ 타 국가의 수소에너지 안전 확보 및 규제 방향

○ 연료전지 분야에서 유럽이나 북미, 일본에서는 형태별, 용량별, 다양한 연료에 각기 적합한 안전 기준을 설정하였고 이를 통해 각 시스템에 필요한 안전 기술을 개발할 수 있었으나, 국내에서는 아직 시스템별로 다양한 안전 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 안전사각지대가 발생하거나 제품 기술과 비교했을 때 안전 기술이 제대로 발전되지 않는 문제점이 발생

○ 미국에서는 DOE의 후원하에 수소와 연료전지 기술에 대한 광범위한 안전 기준 설정 및 안전 기술 개발을 수행하고 있고 총 5가지 분야(안전 관리, 연구 개발, 시험측정 프로토콜, Regulations, codes, and standards (RCS) 개발, 데이터 및 안전지식 보급)에 초점을 맞추어서 진행 중이며 각 분야에 대한 세부 사항은 다음과 같음.

- 안전 관리: 모든 DOE 자금 지원 프로젝트가 안전 관리 기준과 함께 수행될 수 있도록 하는 포괄적인 안전 관리

· DOE가 지원하는 모든 프로젝트에서 수소 및 연료전지 기술의 안전한 작동, 취급 및 사용을 위한 수소 안전 패널, 기타 전문가 지식 및 R&D 및 테스트 결과의 활용 방안 제시.

· 수소 및 연료전지 기술의 안전한 활용과 각 장비의 내구성에 대한 위험 이해 및 완화

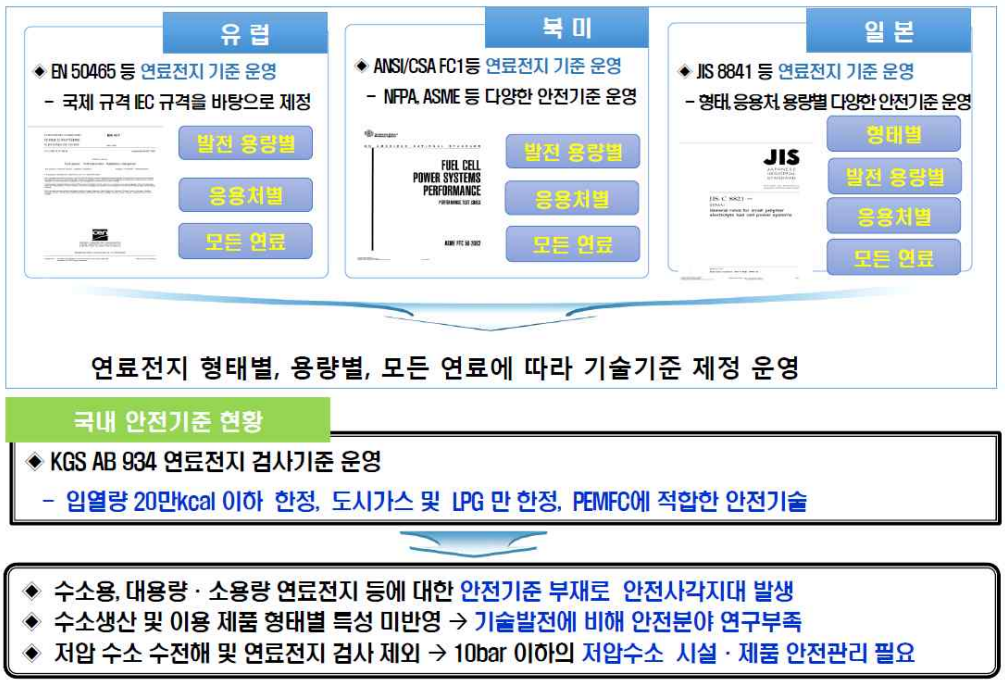


그림 5.26. 타 국가와 비교한 국내 수소 연료전지 안전기준 및 기술 현황 (한국가스안전공사)

- 연구 개발: 철저한 안전 실천과 수소와 연료전지 기술의 안전한 활용을 가능하게 하는 인프라의 개발, 그리고 기술 통합을 위한 과학적 근거 확립.

· 수소에너지 활용을 위해 안전하고 성능이 높은 재료의 개발.

· 재료 구성, 압력, 온도-시간 자료(즉, 대기 및 순환 시 각각 데이터) 및 확립된 시험 시설과의 인증 및 조정을 위한 부품 시험을 포함하되 이에 국한되지 않도록 하는 재료의 수소 활용 능력 측정을 위한 적절한 시험 방법론 개발.
· 실내 및 실외 수소 설치 및 운영에 대한 적절한 평가 기준을 제공하고 이에 관련된 코드 수정 권고.
· 위험 완화 전략을 설계하고 구현할 수 있도록 미리 수소가 혼합된 환경(예: 발화, 연소 및 연쇄 폭발)하에서 수소 거동에 대한 검증된 데이터 제공.

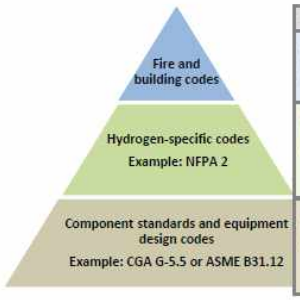
– 시험측정 프로토콜: 전체 시장 적용에 필수적인 수소 및 연료전지 시스템의 구성요소와 자격 요건을 확보하기 위한 시험측정 프로토콜 개발 및 방법론 검증
· Type IV 압력 용기에 대해 균일한 자격 시험 결과 확보를 위한 상세한 시험 측정 프로토콜 수립
· 검증된 시험 기관과의 협력을 통해 수소 및 연료전지 시스템 또는 부품을 효율적으로 인증하기 위한 적절한 시험 방법의 개발

– RCS 개발: 수소 및 연료전지 기술을 안전하고 광범위하게 제공 및 배치할 수 있도록 하면서 동시에 수소 및 연료전지 구성 요소와 시스템을 검증할 수 있도록 하는 필수 코드 및 표준 개발 및 제안.
· 유엔 유럽 경제위원회, 차량 규제 조화 세계 포럼 및 수동 안전 프로그램 실무회의 (UNECE-WP29)에서 제안된 수소 연료 차량 시스템에 대한 GTR (Global Technical Regulation)에 대한 지원 및 확립.
· DOE 연구가 적절한 기준 하에서 수행될 수 있도록 하는 코드 및 표준 개발

– 데이터 및 안전지식 보급: 개발된 코드 및 표준 기준과 이에 관련된 정보의 시기적절하고 정확한 보급 방안 마련.
· 유현재의 수소 관련 안전 정보와 지식의 공유.
· 수소 사회 내의 주요 구성원들을 위한 적절하고 명확한 지식의 보급 및 제공

○ 후쿠시마에서 1만 kW급 수소 생산 설비를 제조 중이며 이를 활용해서 도쿄 올림픽 선수촌의 에너지 공급을 수행, 에너지 선진국 및 수소 경제의 전환 이미지를 구축할 계획

○ 상기된 개발 방향에 따라서 미국에서는 현재까지 계층 구조형 규제 기준을 설정하였고 이에 대한 안전 기술을 지속해서 개발하고 있음.



2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005
California references NFPA 2 in CFC		IFC references NFPA 2							IFC Chapter 22 Hydrogen Fueling
Draft 2nd ed. NFPA 2 developed	NFPA 55 published with clarified setback tables	NFPA 52 authority added to NFPA 2		NFPA 2 1st ed.	NFPA 2 draft	Task Group Bulk Hydrogen	Task Group Bulk Hydrogen	NFPA 2 first committee meeting	NFPA 52 2006 ed. w/ hydrogen fueling
SAE J2601 revision complete	SAE J2579 reissue	CGA H-10 issued	SAE J2719 issued		CSA H series of drafts issued	ASME B31.12 issued	CSA HGV 4		UL2267

그림 5.27. 미국 내 수소에너지 관련 코드와 표준 기준 설립 타임라인 (NREL)

○ 위와 같이 상세한 안전 기준을 설립하기 위해서는 각 시스템 및 재료를 포함한 모든 기술의 전주기에 따른 데이터베이스가 확보되어야 하고, 이를 바탕으로 해서 각각 기술에 맞는 적절한 안전 기준이 설정되어야 하지만 현재 국내의 안전 기준은 수소 품질이나 고압 수소 측면에만 한정되어 있으므로 이에 대한 세부적이고 명확한 기준 설정이 필요함.

○ 예를 들어서, 수전해 시스템으로 한정 지었을 때, 타 국가에서는 안전 관리 기준 또는 적용 범위를 유닛에 따라 각기 다른 형태의 기준이 설정되었으나 국내에서는 수소 탱크를 위주로만 설정되어 있고 이 또한 압력에 따라 검사대상이 구분되는 단순한 형태임.

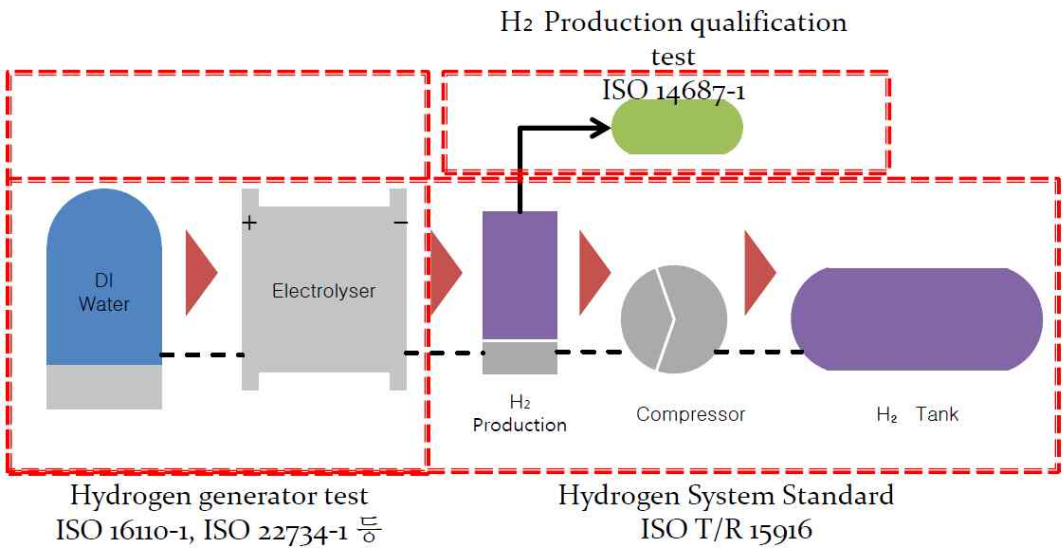


그림 5.28. 해외 수전해 시스템의 안전관리 기준 및 시설적용 범위, (한국가스안전공사)

□ 국내 수소에너지 안전 확보 및 규제 방향에 대한 제언

○ 국내 수소에너지 안전 기준은 주로 고압가스 저장이나 고압 시설에 한정된 경우가 많고 시스템 내의 세부 구조에 제대로 부합되지 않는 경우가 많음. 특히 수소 발생기에 대해서는 기준이 전무하기 때문에 이에 대한 명확한 기준 마련이 필요함.

○ 따라서, 수소 안전 기준 및 안전 기술은 수소에너지 시스템의 세부 구조에 따라 적절한 표준이 마련되어야 하며, 단순한 가이드라인 수준의 기존 규제에서 벗어나서 시스템에 맞는 특성화된 안전 기준이 설정되어야 함.

○ 수소 안전기준은 저장 등에 대한 것과 함께 생산, 이송, 시스템적인 모든 면에서 안전의 표준화와 모니터링에 대한 지속성을 확보할 수 있는 가이드라인 제시가 기획의 방향성이 될 것임

– 특히 이러한 안전성 확보를 위한 기준이 R&D적 제시 뿐만아니라 별도의 법률적 그리고 제도적인 장치까지 연계될 수 있는 다각적인 기획이 요구됨

그림 5.29. 국내 수소 및 고압가스 안전관리법 기준 분석, (한국가스안전공사)

3. 연구목표

□ 기술적 도출 목표

○ 핵심 전략을 위한 KEYWORD

– (수소 생산 체계) 그린 수소 지향의 수소 생산 기술 국산화와 도시내 on-site 생산 인프라 시스템 구축 전략 도출

· 중앙 집중형 생산체계로서 SMR 기술와 CCS의 결합을 통한 탄소 배출량 zero 시스템 구축을 통한 도시내 공급 수소 생산 기술의 시스템화 전략

· 신재생에너지를 활용한 P2G 기술의 확보 및 대용량 저장 기술의 시스템화 전략 구축을 통한 국내 수소 생산용 신재생에너지 단지 구축

· on-site 생산체계와 off-site 생산체계 간의 연계 및 활용 시스템과의 연계 시스템 구축 전략 도출을 통해 도시내 수소 활용율 제고

· 해외 거점 생산 시스템의 특화 전략 및 저장 시스템 구축 로드맵 도출

– (수소 공급 체계) 중·단거리 용 고압 파이프라인 시스템과 생산지로부터 고압 압축 & 액화 이송 체계 구축 전략 도출

· off-line 수소 생산 체계로부터 100 bar 이내의 고압 파이프 라인을 통한 100 km 이내 수소 공급 시스템 구축 전략 도출

· 물류 체계 구축을 위한 물류도시와 공급 연계 시스템 구축 전략 도출과 이를 통합관리를 위한 ICT 체계 구축전략 수립

· 해외 거점 생산지에서 국내까지 이송 가격경쟁력 확보 전략

· 생산 거점지역 별 액화, LOHC 등의 장거리 이송 방식의 체계화 전략 및 국내 물류 도시내 수소 추출 혹은 크래킹 기술의 시스템화

· 단·중·장거리 별 수소 이송 및 공급체계 (트레일러, 철도, 파이프라인 등)의 시스템화 전략

– (수소 활용 체계) 공급시스템별 활용 시스템의 체계화 전략 구축

· 스마트 에너지 시티에 대한 아웃라인 도출과 시스템 활용을 위한 contents 수립

· 국내 활용 특성화 전략 도출 : 공동주택단지용 특화전략, 중앙집중형과 분산형 시스템과의 적용성 차별화 및 가이드 라인 도출

· BLOCK CHAIN 시스템 전략 : Prosumer 도입을 위한 기술적 체계화와 양방향 통신 시스템 구축 전략

· 수소 교통용 액화 수소 충전소 시스템화 및 도시내 저장 시스템 전략 도출

· 도시 구축 성격 (산업, 농업, 상업도시 등)과 도시내 사용 인구 수에 따른 차별화 전략 구축

· 국산화율 제고를 위한 장기 수소활용 시스템의 로드맵 구축

– (수소 안전성) 시민 혹은 사용자의 관점에서 안전하게 활용할 수 있는 수소 안전성 확보 전략 구축

· 수소 충전소내 수소 모니터링 시스템 구축 및 재난 발생시 긴급 구제 시스템 구축 전략

· 수소 폭파 시험의 표준화 및 부품/소재/공정/시스템의 안전체계 구축

· 수소 안전성 평가 시스템의 표준화 전략

– (수소 경제성) 수소 경제 활성활를 위해 구축되는 시스템의 경제성 평가를 통해 경제성 확보전략을 추진

· 국내 수소 생산 지역별 방법별 이송수단별 경제성 평가 전략 도출

· 탄소배출권 확보 전략을 위한 수소 생산 및 활용에 따른 계산 방식의 표준화

· 생활문제 해결 (미세먼지, 대기 오염 등)에 따른 간접적 경제성 평가 방법 표준화

· 국내 혹은 해외거점화에 따른 수소 생산량 별 경제성 평가 전략 도출

□ 사회적 도출 목표

o 핵심 전략을 위한 KEYWORD

– (수소 공급에 대한 비전) 신에너지 체계 구축에 대한 비전을 제시

· 국내 에너지 시스템의 다변화 전략 구축에 따른 사회적·산업적 수용성 확보전략

· 화석연료, 재생에너지, 신에너지 간의 지역·산업·경제 부분별 전략적 3분화를 위한 에너지 활용 비전을 제시

· 화석에너지로서 원유, 천연가스 등을 탈피하기 위한 새로운 에너지로서 수소의 국산화로서의 활용분야 제시 및 평가

· 신에너지 체계의 도입에 따른 사회적 민감도 분석

– (주민수용성) 주민 불안감 해소를 위한 민·관·연·학·산의 대규모 연합체 구성을 통한 방향성 제시

· 수소 도시 구축에 대한 주민 참여 유인책 수립

· 수소 충전소 구축 거점에 대한 전략적 분석 및 주민 거부감 해소 전략 추진

· 수소 도시 공급 수소 저장 거점화 및 이송 전략 구축

· 수소 도시 구축을 위한 주민 합의 혹은 동의 과정 전략화

□ 정책적 도출 목표

o 핵심 전략을 위한 KEYWORD

– (수소 경제활성화 로드맵 목표 달성) 현 단계에서 `22년과 `40년의 수소 경제활성화 목표 달성을 위한 가능성 분석과 이를 위한 정책적 지원책 수립

· 산업계와 연구계에서 도출한 전략 로드맵과 수소 경제활성화 로드맵을 비교 및 분석을 통한 잠재적 가능성 분석
· 보조금 정책 외적으로 수소 경제활성화를 위한 신 정책적 비전을 제시
· 수소경제를 위한 지속성 확보 전략을 도출

– (수소 산업 자립화 방안) 수소전문 기업 육성을 위한 기업 지원정책과 지속성 확보를 위한 수소 에너지 시장 확보 전략

· RPS제도의 정비 : 산업육성책을 위한 신재생에너지와 유사한 제도적 장치 마련 가능성 분석
· 에너지 수급 제도의 민간 개방 및 시장 형성을 위한 블록체인 구축 규제 완화
· “관”차원의 E-Coin 등의 제도화를 통한 그린 도시 구축 정책적 타당성 검토

– (수소 산업 해외 진출 및 해외 생산 거점 확보) 국내 수소 산업 시장 외적으로 해외 시장 개척을 위한 해외 협력 방안 강구

· 국가 에너지 안보 차원에서 접근할 수 있는 방법론 분석 (예: UAE 원전수주전략)
· 해외 수입 혹은 생산을 위한 정책적 안보전략 수립

□ 요약

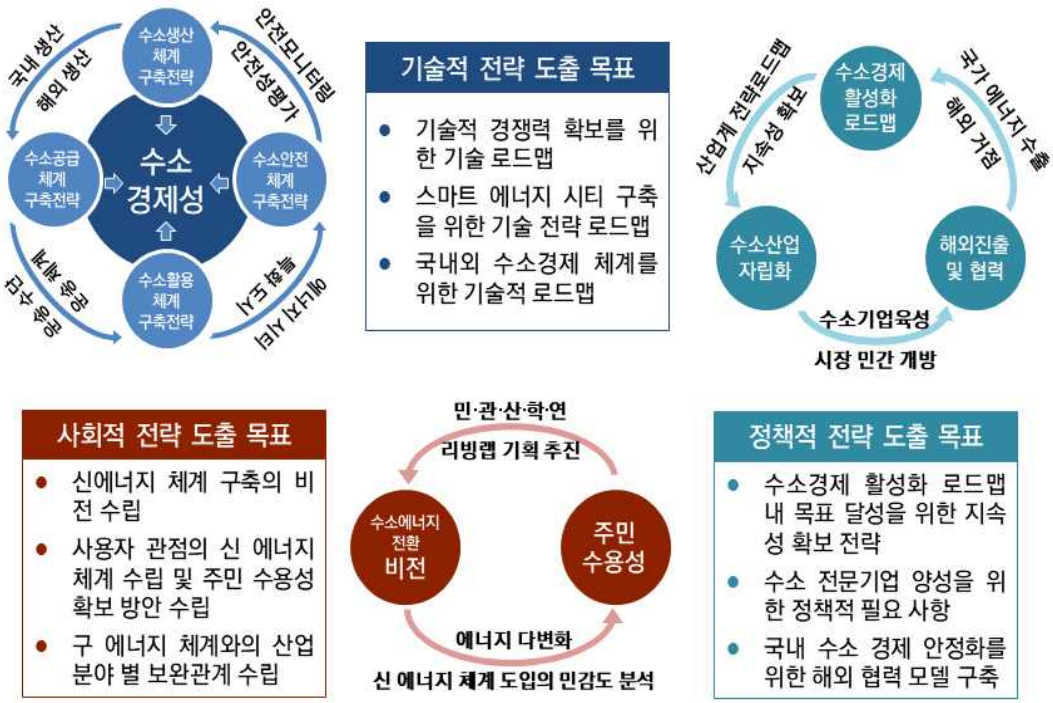


그림 5.30. 장기 모델을 위한 본 기획의 전략 도출 목표 요약

4. 주요 도출 내용

□ 해외 수소 생산체계 구축

- ㅇ 그림 4.38의 국내 수소 생산 체계에 대한 기술적 내용 및 기술 조합에 따른 다양한 수소 생산 시스템의 체계화
- ㅇ 수소 경제 활성화 로드맵 상의 수소 공급량 목표를 위해서 장기적으로 요구되는 기술과 이에 따른 인프라 구축 계획 수립
- ㅇ 수소 생산 체계에 대한 국내 거점 및 해외 거점 상의 공급량 연계 방안 및 전략 수립
- ㅇ 해외 수소 생산 거점 지역 분류 및 이에 따른 기술 현지화 전략 수립
- ㅇ 현지화 및 생산 거점 지역별 요구 기술에 따른 경제성 비교 분석과 이를 통한 최적 수소 생산 거점 대상지 선정
- ㅇ 해외 거점 지역으로서 조건 분석을 통한 최적지 분석 및 각 지역에 따른 생산 방식의 비교 평가를 통한 지역별 필요기술 로드맵의 구체화
- ㅇ 해외 거점 지역에서 생산된 수소의 액화 혹은 LOHC 화를 통한 이송 방법의 체계화를 위한 로드맵 구성
- ㅇ 해외 거점화 전략 추진을 위한 타 부처 기술 현황 분석과 활용 전략 수립

□ 물류를 위한 헤드쿼터로서 도시 구성

- ㅇ 핵심내용 요약
- ㅇ 국내 수소 생산 거점과 해외 생산 거점과의 연계를 통한 물류 도시의 시스템 구성(안) 도출
- ㅇ 생산-저장-이송 기술 별 시스템화에 따른 경제성 분석과 각 유통 단위별 수소 단가 분석 및 경제성 확보 전략 추진을 위한 필요 기술 도출
- ㅇ 해외 거점 지역으로부터 유입되는 수소량에 대한 대용량 저장 기술과 손실율 보전을 위한 기술 개발 로드맵

- ㅇ 국내 수소 활용지와의 네트워크 구성 및 필요량 분석 툴 개발과 사용량 모니터링을 위한 DB 구축 로드맵 구성
- ㅇ 수소 저장 지역내 설비 안전성 진단/모니터링 기술 및 긴급 재난 구호 시스템 구축 로드맵 도출
- ㅇ 물류 거점내 수소 활용 구역에 대한 기술개발 전략 도출 로드맵

□ 국내 수소 공급체계 구축을 위한 이송 체계 구축

- ㅇ 물류 도시내 수소 저장-이송 시스템화를 위한 기술 로드맵 도출
- ㅇ 활용 도시, 즉 지역별 거리별 이송방법별 경제성 평가 및 이에 따른 이송 방식의 체계화 도출
- ㅇ 수소 연료전지, 수소 충전소 등 활용 방법 별 이송체계의 적절성 분석을 토대로 경제성 확보 방안 및 이를 위한 기술 분류 로드맵 구축
  - 그림 4.38의 이송 방식에 대한 기술적 로드맵과 국가적 차원의 수소 공급망 구축 전략 추진

□ ICT와 연계된 수소 공급 컨트롤 (스마트 에너지 시티)

- ㅇ 스마트 시티의 컨셉과 에너지 시티 컨셉의 융합 방안 도출
- ㅇ Prosumer 컨셉 도입을 위한 정책적/사회적 이슈도출 및 도입 가능성 분석
- ㅇ Block chain 컨셉 도입을 위한 사회적 consensus 도출 방안 분석
- ㅇ 메인 컨트롤 제어룸을 위한 센터 구축 전략 로드맵
- ㅇ 각 수소 공급 및 이송 거점과 사용자간의 ICT 연계 기술, 센서 및 컨트롤 기술 개발 로드맵 도출
- ㅇ 각 수소 도시내 수소 교통과 수소 인프라의 가상화에 따른 모델 도출 및 디지털 트윈 방식에 따른 수소 거점, 네트워크, 안전 모니터링 등의 관리 기법 기술 개발 로드맵 도출

□ 지역 특화 수소 도시

- ㅇ 4장에서 도출된 지역 특화 모델에 대한 추진 타당성 분석 및 필요 예산 분석

○ 지역 특화 도시 내 중앙정부, 지자체, 연구자, 시민 간의 역할 분담에 대한 명확성 분석과 지원 방안 범위 도출

○ 각 응용 분야별 핵심 기술 확보 전략 및 구현 기술 로드맵 도출

○ 각 도시별 수소 공급 체계 구축 및 주민 수용성 확보 전략 도출

□ 수소 도시 구현

○ 최종 수소 도시 구현을 위한 전략적 비전 및 핵심 목표 도출

○ 수소 도시 모델 구현을 위한 규모와 예산 도출

○ 최종 수소 도시내 수소 경제 구현을 위한 인프라 구축 모델 제시 및 타부처 기술 개발의 전략적 구현 방법론 구체화

그림 5.31. 본 기획을 통한 수소도시 구현 핵심 5개 분야 주요 내용

○ 스마트 시티 연계 전략

- 스마트시티 분야는 다양한 관점과 분류가 존재함.
· Navigant Research는 스마트워터, 스마트에너지, 스마트교통, 스마트빌딩, 스마트 정부 등 4가지 분야로 분류
· Frost & Sullivan은 IT, 에너지와 인프라, 빌딩 컨트롤 자동화, 안전, IT 네트워킹 등 5개 기술로 분류
· 미국 IEEE는 IT에 대해서 심층 분류하여, 네트워킹과 통신, 사이버 물리시스템과 IoT, 클라우드와 에지컴퓨팅, 개방형 데이터, 빅 데이터와 분석 등의 5가지로 구분함.

- 이들을 종합하면, 스마트시티의 핵심 기술은 IT이며, 분야는 도시내 모든 분야가 대상임을 알 수 있음
· 도시의 분야 중에서 반드시 포함되는 분야가 스마트에너지 분야이며, 이러한 스마트 에너지 분야는 현행 정책적 흐름에 비추어 신재생에너지와 화석에너지의 분산으로 정리됨

- 스마트 에너지 시티는 이러한 관점을 도입하여 현재 화석에너지에 편중된 도시내 에너지 흐름을 신재생에너지, 수소, 화석에너지와의 조합을 통한 분산정책으로 추진하는 전략으로 요약될 수 있음

- 부산 에코델타시티, 세종 K-Smart City 등은 각 분야별 종합 실증단지로 스마트 워터, 에너지, 교통 등이 중점이 되어 실증되고 있거나, 준비 중임

- 단, 현재 실증단지는 IT의 센서 중심으로 치우쳐, 실질적인 도시내 생활 활동 등에 대해 깊이 있는 접근이 부족

○ 스마트 에너지 시티와 수소에너지의 연계

- 현 빌딩내 연료전지는 신재생에너지 의무화 제도에 의해 다수 설치되고 있으나, 실질적인 운영은 연료로서 수소 공급이 안되므로, 천연가스 추출기와 조합을 통해 운영

- 현 스마트시티 사업단 내용은 스마트 미터링과 통합 EMS로 요약 정리되어 사용자 관점의 접근이 부족하므로 기술이 아닌 도시 운영 모델로서 스마트 시티를 접근

- (도시의 living Activity 에너지) 교통에너지, 건물/주거 용 에너지, 생활 에너지, 환경 개선 에너지 등으로 분류될 수 있음
· (교통에너지) 휘발유, 경유 등의 자동차를 운영하기 위한 직접적인 화석에너지

· (주거/건물 용 에너지) 화석 혹은 신재생에너지 등을 기반으로 생산되는 전기와 열로 대표됨
· (생활 에너지) 요리, 정수 공급, 제품생산 등 도시내 생활을 위해서 활용되는 다양한 에너지로 규정
· (환경개선 에너지) 도시내 생활에 의해 발생되는 오염원을 처리하기 위해 사용되는 에너지로 정의

– 각 분야별 에너지의 분산을 위해 기존 화석연료에 대한 절대적인 의존도를 감소하기 위해 다양한 정책적 적용을 제도화
· (교통에너지) 휘발유, 경유, LPG → 전기 에너지, 수소와의 공조
· (주거/건물 용 에너지) 태양에너지 등의 신재생에너지 의무화
· (생활 에너지) 가정집 혹은 식당 등의 화력을 위해 아직까지 석유/천연가스에 절대적으로 의존
· (환경개선 에너지) 하폐수 처리장 등에 신재생에너지 활용 (슬러지 처리에 의한 메탄 재활용 등)하고자 하나 아직까지 미비

– 각 분야별 에너지 흐름을 분산하여 중앙 컨트롤에 의한 수소 공급정책 활용
· (수소 메가 스테이션 정의) 도심내 4대 분야에 대한 수소 생산 및 공급과 저장을 동시 실현할 수 있는 수소 스테이션으로서 정의
· 도시내 각 섹터별 수소 메가 스테이션 분산을 통해 core line을 통한 각 스테이션간 연계 및 각 섹터별 capillary line은 세부 연계 지점내 스마트 미터링 기법 도입
· 도시내 석유 혹은 천연가스 공급망과의 공조를 위한 세부 연계와 스마트 미터링 공조
· 중앙 컨트롤 룸에서 통합 에너지 관리 시스템 (Energy Management System, EMS)을 통한 연계

– E- Coin 활용을 통한 전력 유통에 대한 스마트화 정책 실시
· 수소 활용량에 따른 E-Coin 및 그린 인센티브 제도화
· E-Coin과 함께 prosumer로서의 참여가 가능하도록 블록체인 구성을 통한 도심내 산업 생태계 구축
· (E-Coin의 활용처 생산 및 확대) 수소 택시를 포함한 수소 대중교통 사용시 가상 화폐로 사용 및 전기세 대체 수단 등으로 활용

– 기술적 심화 내용은 본 기획을 통하여 실시

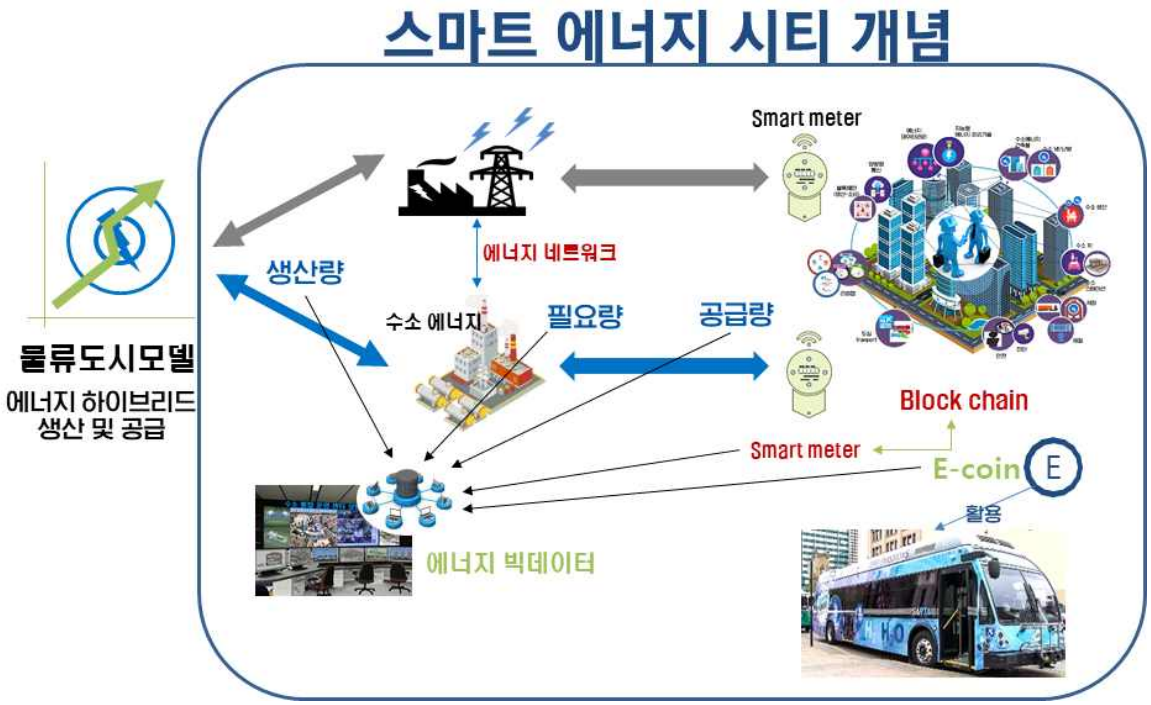


그림 5.32. 스마트 에너지 시티 개념을 도입한 수소 도시 컨셉

제 6절 중복성 검토

1. 국내 수소관련 실증 R&D 추진 현황 분석

□ 국내 R&D 체계 중 실증과제 분류

○ 수소와 관련된 R&D 현황

- 총 2774개의 R&D과제가 NTIS에서 분류될 수 있으며, 수소 생산, 이송, 저장과 관련되어 1690개가 구분됨
- 응용 연구 289개와 실증과제 161개로 조사되었으며, 본 기획에서 추진되고 있는 과제는 성격상 실증과제로 분류될 수 있음

○ 수소 실증과제

- 총 `06년부터 시작된 과제로 수소 생산, 이송, 저장과 관련되어 총 103개의 과제로 구분

  *** 다년 과제를 따로 분류시 161개, 하나의 과제로 할 경우 103개임**

- 국내에서 연구된 실증과제는 생산 32건, 저장 13건으로 기본적으로 실증으로서 최소한의 단위로서 검증된 기본 인프라 관련 기술은 총 45건으로 분류됨
- 나머지 58건이 응용에 대한 실증이었음
- 가장 유사한 과제로서 2개가 구분되어 있으며, 울산수소타운과제, 교통과 관련하여 6개의 실증과제가 있었음

2. 단기 연구단 추진 사업과의 연계성 및 차별성

○ 주거용 연구단과 관련하여서는 직접 연관된 과제는 울산 수소 타운 실증으로서 유사한 컨셉으로 구성되어 있으나, 울산 수소 타운은 부생수소를 이송하여 연료전지에 공급하는 단순한 과제임

- 본 사전기획에서 도출하고자 하는 과제는 신재생에너지와 수소 생산을 시스템화하여 전체적으로 에너지 플러스 모델을 개발하는 컨셉 개발이나, 울산 수소타운 실증은 연료전지의 활용성에 집중되어 있어 다른 성격의 과제로 분류
- 추가적으로 수소자동차와의 연계 등 다양한 시스템화를 추진하는 것으로서 완전히 다른 과제로 분류될 수 있음

○ 수소에너지 커뮤니티 설계 및 실증 과제와 유사한 과제와의 연계성 및 차별성 이 표 5.2에 정리되어 있음

표 5.3 수소에너지 커뮤니티 설계 및 실증 과제와 유사과제의 연계성 및 차별성

부처명	사업명(과제명)	총 연구기간	총 연구비	연계성 및 차별성
국토부	제로에너지 주택최적화 모델개발 및 실증단지 구축	2013 ~ 2018	180억원	(차별화) 5대부하에 대한 자립율 및 태양광, 지열 위주의 에너지공급 개발이나, 신규 개발기술은 5대 부하 및 플러그 부하를 포함한 에너지 자립율 130% 이며 에너지 부하 추종이 가능하고 수소를 이용한 에너지 저장 및 연료전지 활용이 가능한 기술 개발 임. (연계성) ZEB 설계·시공 등 패시브 기술 연구성과 활용
과기부	친환경에너지타운	2015 ~ 2018	135억원	(차별화) 기존 기술은 태양광을 이용한 전력 공급, 태양열 및 지열을 이용한 냉난방 및 온수 공급에 활용하여 Net Zero 에너지 자립율 100% 달성이 목표이나 신규 개발기술은 전기, 열 외 수소를 이용한 연료전지 전력생산 및 중장기 수소 저장을 활용한 부하대응 가능의 차별성을 가짐. (연계성) 커뮤니티 규모를 대상으로 신재생에너지 이용 에너지 자립율 100% 달성
과기부	차세대 신재생 융복합 건물에너지기술	2017 ~ 계속	4억원 (2017 ~ 2018)	·(차별화) 태양광 및 연료전지를 활용한 플러스에너지 하우스 개념 설계 및 설계도면 확정하였으나 실제 플러스에너지 하우스 건설 및 실증운전 미실행하였음. ·(연계성) Net 플러스에너지 하우스 설계기술 연구성과 활용
산업부	울산 수소타운	2012 ~ 2018	88억원	(차별화) 산업용 부생수소를 활용하고 주거용 연료전지를 보급하여 수소타운 모델을 제시하였으므로 재생에너지원을 활용한 플러스에너지하우스 모델로 에너지 소비자와 생산자의 구분이 없어지는 본 연구개발 내용은 진보성과 차별성이 있음. (연계성) 건물용 연료전지의 운영을 통한 전기와 열에너지의 동시 공급

○ 수소 교통 연구단과 관련하여서는 직접 연관된 과제로 충전소 기술 개발 컨셉이 다양한 부처에서 시행된 바 있으나, 모든 과제가 국내 상황에 초점이 맞추어져 있어 해외 실정에 적합한 모델의 개발에 대한 차별화가 되어 있지 않음

- 본 사전기획에서 도출하고자 하는 과제는 타 과제와 달리 수소 충전을 위한 모든 시스템에 대한 전주기적 기술의 시스템화로 구성되어 있음
- 특히 차고지내 대용량 시스템의 설계는 아직까지 설계되지 않은 것이며, 타 부처의 과제는 단일 기술에 집중되어 있어 시스템적 인프라로서 실 적용을 하기에는 부담이 있음
- 즉 본 연구단에서 추진하는 내용은 시스템 인프라적으로 접근하여 교통시스템 자체를 실증하는 것임

○ 해외 수소 기반 대중교통 인프라 기술 개발 과제와 유사한 과제와의 연계성 및 차별성이 표 5.3에 정리되어 있음

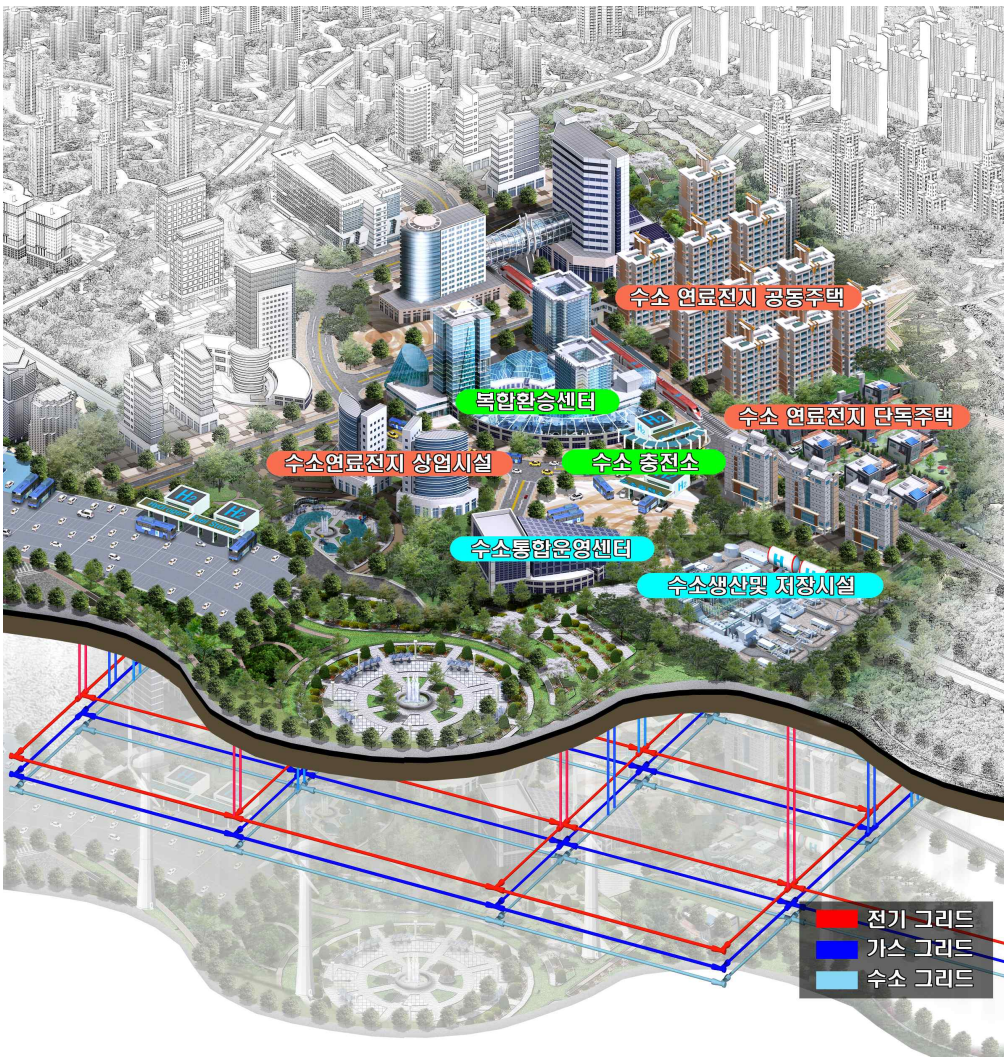
표 5.4 해외 수소 기반 대중교통 인프라 기술 개발 과제와 유사과제의 연계성 및 차별성

부처명	사업명(과제명)	총 연구기간	총 연구비	연계성 및 차별성
산업부	풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	`17~`20	23.7억원	·(차별화) 5 Nm3/h급의 소형 수전해와 풍력, 밧데리를 연계한 에너지 저장을 소형 모델 환경에서 진행하는 연구이며 본 연구와 같이 해외의 고온 환경에서 모듈화를 통한 용량 대응성과 대용량 수전해 기술로써 효율 75% 이상을 달성하는 등 차별성이 있으며 특히 수소충전소와 수소버스를 수소공급과 연계하는 기술로 사업의 계획·설계, 건설·시공, 유지·관리 등과 결합 및 수행되어 차별성을 가짐 ·(연계성) 일부 재생전력과 연계성에 대한 내용은 연구성과를 활용 가능
	수소버스 충전시간 1/2단축 및 튜브트레일러 운송용량 2배 이상 증대를 위한 수소충전시스템 기술개발실증	`18~`21	23억원	·(차별화) 700 bar 수소버스 충전을 충전프로토콜개발 및 충전시간 단축을 위한 압축시스템 개발과 튜브트레일러 450bar 시스템 설계로 본 기획과 같이 50대 이상의 대형충전시스템의 효과적, 경제적 설계와 개발된 연료공급 프로토콜을 시스템적으로 검증하고 이를 개선하는 종합적인 기술과는 크기와 용량 및 실증규모에서 차별성이 있음. ·(연계성) 개발된 프로토콜을 메가충전시스템에 적용
	수소전기버스 충전소 모니터링 사업	`16~`19	10.4억원	·(차별화) 수소버스 700 bar 충전 실증, 밸브 및 피팅류 국산 제품 적용 검증, 수소버스 30회 충전 실증, 충전 자료 분석, 원격진단 등 ·(연계성) 700bar 수소버스충전 자료 이용한 시스템 분석

	수소융복합스테이션 위험성 평가 및 연구	`16～`19	18.5억원	·(차별화) 산업부의 연구는 기존의 CNG, LPG, 휘발류/경유 충전소와 함께 수소충전소가 설립되었을 때 영향과 안전성을 확보하기 위한 연구임. 본 기획은 수소버스 전용의 50대/day 충전을 할 수 있는 메가 충전소와 수소공급설비 그리고 수소버스의 운행에 대한 것으로 보다 폭넓은 안전성에 대한 평가와 설비에 대한 안전기준이 필요한 사항임. ·(연계성) 기존 수소 폭압 및 방호벽 관련 자료 활용
과기부	차세대 알카라인 수전해 기술개발	`16～`20	55억원	·(차별화) 알카라인 수전해 기술의 핵심요소인 전극, 분리막과 관련된 소재개발 연구가 주 내용으로 소재의 효율 및 열화율에 대한 연구내용임. 최종적으로 2Nm3/hr급의 소형 스택을 개발 테스트 예정으로 본 과제에서 진행하고자 하는 모듈형 대형 수전해 개발과는 차별성을 가짐. ·(연계성) 개발된 일부 소재개발 연구성과를 활용 가능
국토부	100만 명 규모 도시형 복합 수소 네트워크 설계 및 안전성 평가, 관리기술 개발	`17～`18	2.6억원	·(차별화) 수소발전 및 차량용 네트워크의 최적 설계를 통해 도시의 수소에너지 활용에서 고려하여야 하는 사항들에 대한 기반설계에 관한 연구로 본 연구와 같이 대중교통을 위한 수소충전소의 설계와 이의 운용, 그리고 이를 해외에 판매하기 위한 현지 실증과 같은 구체적인 연구 개발 및 실증과는 차별됨. ·(연계성) 교통모델의 수소충전시설의 도시 및 국토적 위치 선정에 활용

제 6 장

기술 개발 로드맵


수소 연료전지 공동주택
복합환승센터
수소 연료전지 단독주택
수소연료전지 상업시설
수소 충전소
수소통합운영센터
수소생산및 저장시설
전기 그리드
가스 그리드
수소 그리드

제 6 장 기술 개발 로드맵

제 1절 국가 부처간 추진 기술

1. 각 국가 부처 별 추진 기술 현황

□ 범 부처 수소경제 활성화 기술개발 로드맵

○ 수소 경제 활성화 로드맵이 발표된 이후 목표 달성에 요구되는 기술개발에 필요한 로드맵을 개발 중에 있음

- 과학기술정보통신부와 산업부, 국토부, 환경부 등의 4개 부처를 통합하여 총 5개 분과 75명의 관련 분야 전문가에 의해 작성 중에 있음
- 생산, 저장, 활용 1, 활용 2, 안전·인프라 분과로 구분되어 각각 분야에 맞는 수소 관련 기술에 대한 장기적인 로드맵 구성이 목적임
- 최종 기술개발 로드맵은 10월을 목표로 추진중에 있으며, 수소 경제 활성화 로드맵의 일정인 `22년, `30년 `40년까지의 기술 개발 일정에 대해 작성 중

○ 기술 개발 로드맵은 수소 경제 활성화 목표 달성을 위해 필요한 기술을 개발하는데 비해 `22년 목표 달성은 희박함

- 현 단계에서 기술 개발을 목적으로 예타를 추진할 경우 빠르면 `21년부터 기술개발 시작이 가능하며, 최소 3년의 시간이 요구될 것을 가정할 경우 `25년 이후에나 상용화 될 것임
- 수소 경제 활성화 로드맵의 `22년 로드맵은 현대자동차의 수소자동차 분야에 대한 투자로 인하여 `22년 8만대 수소차 보급에 의존할 것으로 사료됨
- 또한 이에 따른 충전소 330개의 등의 인프라 구축은 기술 로드맵과는 상관없이 HyNet 등의 산업계 투자에 의존할 가능성이 높음
- 중앙집중식 연료 전지 발전은 진천군의 80 MW 급 발전소, 장흥군의 200 MW 급 발전소, 화성시 20 MW급 발전소, 제천시 40 MW 급 발전소, 인천시 40 MW 급 발전소 등 각 지자체의 발전소 건립에 의존할 가능성이 높음
- 가정용 연료전지는 현재의 분위기 상 목표달성이 쉽지 않은 상황으로 유지관리 등의 이유로 기존의 가정용 연료전지도 오히려 철거하고 있는 실정임

□ 각 부처의 실증 개발 현황 및 로드맵 내용

○ 현 기술개발 로드맵으로 인하여 각 부처는 개별적인 로드맵이 없으므로 현 단계에서는 지금까지 발표된 내용으로 각 부처에 대한 내용으로 큰 틀만 검토함

- 과학기술정보통신부에서 공고한 수소 관련 기술은 표 6.1에 있으며, 모든 과제가 실증을 진행해야 하므로 관련 기술의 조합을 통한 로드맵 작성이 필요함

표. 6.1 `18년 이후 과기정통부 진행의 실증화 과제

구분	선정과제명	연구책임자 (주관기관)	기간
알칼라인 수전해	알칼라인 수전해 핵심기술개발 연구단 (최대 147.2억/4년)	김창희 (KEIR)	`19~`23 (43개월)
고분자 전해질 수전해	고분자전해질(PEM) 수전해 핵심원천기술개발 (최대 147.2억/4년)	장종현 (KIST)	`19~`23 (43개월)
액상 유기화합물 수소저장	액상유기수소운반체(LOHC) 핵심원천기술개발 (최대 73.9억/4년)	윤창원 (KIST)	`19~`23 (43개월)
온사이트 수소충전소를 위한 태양광 수소생산 원천기술 개발	친환경 모빌리티용 태양광 수소 온사이트 생산 시스템 개발 및 실증 (122억/5년)	이재성 (UNIST)	`19~`24 (55개월)

- 산업부에서 수소경제 활성화에 대해 논의가 시작된 `18년 이후 진행된 실증과제는 표 6.2에 있음

표. 6.2 `18년 이후 통산산업부 진행의 실증화 과제

구분	선정과제명	연구책임자 (주관기관)	기간
수소융복합단지 실증사업	수소융합실증단지 구축을 위한 지자체 특화모델 사전타당성 조사 (5억/4개월)	지자체 대상	`19~`19 (4개월)
에너지기술개발사업 (`19년)	수소의 메탄화 공정 모듈화 기술 개발 (연구단, 25억/`19년)		`19~`24 (5년, 3+2)
	재생에너지를 활용한 수소 생산/저장 기술 개발 (연구단, 31억/`19년)		`19~`24 (5년, 3+2)
	Power to Gas 시스템 통합 엔지니어링 기술 및 비즈니스모델 개발 (연구단, 1억/`19년)		`19~`24 (5년, 3+2)
	이동식 수소충전소 성능평가 및 안전관리 기술개발 (6억/`19년)		`19~`22 (36개월)
	수소충전시스템 종합성능/안전평가기술 (6억/`19년)		`19~`22 (36개월)

구분	선정과제명	연구책임자 (주관기관)	기간
신재생에너지핵심기술개발사업 (`19년)	바이오가스를 이용한 수소 융복합충전소 시범사업 (연구단 15억/`19년)		`19～`22 (32개월)
	발전용 확장이 가능한 고효율 모듈형 SOFC 시스템 개발 (25억/`19년)		`19～`23 (44개월)
	25kW급 건물용 연료전지 전력변환시스템 개발 (5억/`19년)		`19～`22 (32개월)
수소생산기지 구축사업 (`19년)	수소생산기지 구축사업 (3개 지자체) (146억/16개월)		`19～`20 (16개월)
수소연료전지차 부품실용화 및 산업기반 육성 사업	수소연료전지차 원가절감을 위한 운전장치 호스 및 마운트 기술 개발 (8.37억/`3년)		`19～`21 (33개월)
에너지 기술개발사업 (`18년)	재생에너지 변동성에 대응가능한 MW급 고효율 고분자 전해질 수전해 스택 개발		`18～`21 (36개월)
	수출목적형 건물용 연료전지 시스템 현지적용 기술 개발		`18～`22 (48개월)
	kW 급 건물용 고체산화물 연료전지 (SOFC) 시스템 실용화 기술 개발		`18～`22 (48개월)
신재생에너지 핵심기술개발 사업 (`18년)	수소충전소 부품 국산화 기술 개발		`18～`22 (36개월)
	암모니아 분해 수소생산/정제시스템 개발		`18～`22 (36개월)

- 국토교통부에서 수소경제 활성화에 대해 논의가 시작된 `18년 이후 진행된 실증 과제는 표 6.3에 있음

표. 6.3 `18년 이후 과기정통부 진행의 실증화 과제

구분	선정과제명	연구책임자 (주관기관)	기간
수소 철도	수소연료전지 하이브리드 동력시스템 (1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술 개발) (220억/5년)		`18～`22 (57개월)
액화저장	상용급 액화플랜트 기술 개발 (278억/5년)	기계연	`19～`23 (57개월)
수수 안전성	수소연료전지 자동차용 내압용기 및 부품의 금속/비금속 소재 안전사용 적합성 평가기술 개발 (최대 43억/3년)		`19～`21 (33개월)

○ 수소 경제 활성화 로드맵 관련 논의가 시작된 시점에서 시작된 산업부와 과정부의 과제는 핵심기술 개발이 생산시스템 중 수전해 기술에 초점이 맞추어져 있으며, 실증형 과제는 모두 수소 충전소에 집중된 경향이 있음

- 이러한 기술개발에도 불구하고 실질적인 기술개발 완료시기가 길게는 `24년에 완성되므로 `22년 목표달성에 활용될 가능성은 없음
- 따라서 국토부의 인프라 분야는 타 산업부 등의 기술개발과 동일선상에서 출발을 하는 것이 목표달성의 가능성을 높일 수 있는 방식이 될 것으로 분석됨

○ 현재 단기 목표를 추진하기 위해 고려되고 있는 기술적 분류는 4장에서 분석된 바 있음

- (생산) 수소 추출 방식, 수전해 기술
- (저장) 가스 압축
- (이송) 튜브트레일러, 단거리용 파이프 라인
- (활용) 가정용, 건물용 연료전지, 중앙집중식 연료전지 발전, 수소 충전소, 수소 자동차 및 수소 버스

2 각 국가 부처 별 추진 기술을 고려한 국토부 로드맵

□ 현 추진 현황에 대한 기술 로드맵 구성

○ 현재 각 부처에서 추진 중인 R&D와 수소 경제 활성화 로드맵을 비교한 R&D 현황은 그림 6.1에 나타난 바와 같음

- (생산기술) 현재 과기정통부에서 추진중인 생산 관련 R&D는 차세대 AE & PEM 기술개발이 `23년에 종료되며, 수소 추출 기술에 대한 기술 개발이 `19년 수소 생산기지 형태로 개발되어 `20년까지 약 16개월간 총 3개의 지자체에 약 50억씩 투입 예정으로 진행됨.

· 특히 수소 생산기지 개발은 수소 추출이후 버스 혹은 수소 자동차용 스테이션과 연계하여 5년이상 운영하도록 규정하고 있으므로 수소 경제 활성화 로드맵과 일치하는 기술임

· AE 기술은 과기정통부에서 이미 `18년이 시작해서 `20년에 종료하는 과제가 있음에도 불구하고 추가로 진행하고 있어 중복성이 있음

· PEM 기술은 산업부에서 이미 `18년~`21년까지 MW 단위로 개발하고 있으므로 과정부에서 시행하는 과제는 중복성이 많음에도 불구하고 시행하고 있음

- (저장기술) 산업부에서 이미 450 bar 압축기술에 대한 R&D는 시행 중에 있으며, `20년 완료예정이므로, 이는 수소 공급을 위해 활용이 가능할 듯 하나, 목표인 700 bar의 상용화는 기술 개발이 시작되지 못한 관계로 목표 달성이 어려울 듯 함

· R&D 기술 개발의 초점은 액화 기술과 액상기술에 초점이 맞추어져 있으며, 실증 자체는 `23년을 목표로 하고 있음. 그러나 기술 개발이 된다고 해도 현실적으로 적용이 어려울 듯 사료

- (이송기술) 트레일러와 파이프 라인 구축이 주요 골자이나, 현재 R&D로서 제시되고 있는 것은 조사되지 않았음. 단 튜브트레일러용 450 bar 압축저장기술 자체는 개발되고 있으므로 파이프라인 구축을 위한 사업 추진이 필요함

- (활용기술) 크게 수소 충전소와 수소 교통, 연료전지로 구분되며, 수소 충전소는 시범사업을 추진하고 있음

· (수소 충전소) HyNet에서 `22년을 목표로 100여개소를 건설하는 것을 목표로 사업화를 하고 있으며, 산업부에서 총 4기의 시범사업을 추진함. 따라서 약 200 여기의 추가 건설이 필요한 상황임.

*** 수소 충전소 부품소재 국산화 기술은 산업부에서 `22년을 목표로 추진되므로 실질적으로 `23년 이후 건설되는 충전소가 100% 국산화된 기술이며, 현재는 부족한 부분은 일부의 기술은 외국계가 될 수 밖에 없는 상황**

· (수소 교통) 현대자동차에서 자체 산업으로 자동차 판매 목표를 세우고 있으나, 현재 8만대 보급 목표가 달성될 수 있는 지는 더 분석이 필요함

*** 수소 자동차 생산라인을 `22년 목표로 4만대로 증설할 것을 목표로 하므로 그전에 8만대 달성이 어려울 수도 있음**

· (연료전지) 연료전지 자체는 SOFC에 집중해서 개발되고 있으나, 대부분 `24년을 목표로 추진되며, 산업부 자체에서도 중복적으로 과제를 도출하고 있는 상황임

*** 가정용 건물용 연료전지 목표 달성은 현 단계에서 불투명함**

*** 각 지자체에서 발전용 연료전지를 다양하게 발주하고 있는 상황으로 향후 산업적으로 해결이 가능할 것으로 사료**

○ 그림 6.1은 이러한 현실적인 부분을 반영한 것으로 `24년 이후 기술 개발에 대한 공백이 있음을 보여주며, 실질적으로 산업계에서 추진되는 것을 제외하면 수소 경제 활성화 로드맵 목표 달성이 요원함을 알 수 있음

- 국산화 기술은 별도의 부처간의 R&D로 추진하되, 현재 목표 달성을 위해 부족한 부분을 채울 수 있는 인프라 등에 대한 기술이 추진되어야 함

- 현 단계에서 수소 경제 추진을 위해서는 인프라 구축 사업을 통한 시행착오 저감과 향후 국산화 기술과의 접목을 추진하는 전략적 로드맵이 필요함

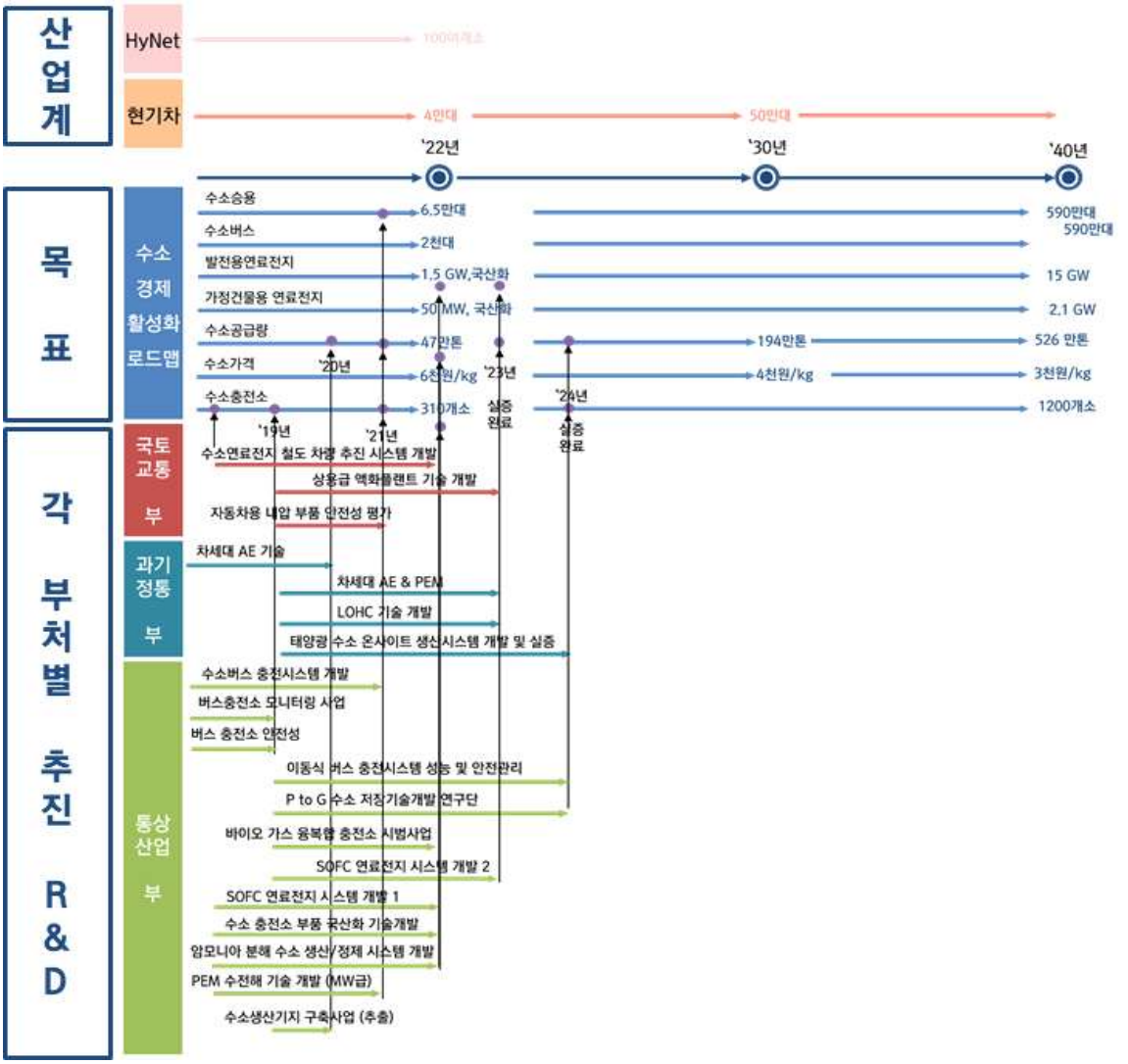


그림 6.1. 수소 경제 활성화 로드맵과 현재 부처별 R&D 현황 비교

○ 그림 6.2는 향후 국토교통부에서 추진되어야 하는 기술 개발 로드맵을 작성한 것으로 큰 틀에서 각 부처의 기술 검증 및 국산화를 위한 인프라 기술에 초점

- 인프라 구성을 위해서 가장 시급한 주거와 교통에 대한 인프라를 우선 추진하여 향후 기술 개발이 국산화에 성공할 경우 기술 대체 전략 추진
- 수소 충전소, 연료전지는 기존 사업화 된 기술을 우선 적용하여 인프라 구축기술을 개발하고 파이프 라인 등의 부족한 기술적 요소를 추가로 개발함
- 다양한 기술 도입을 위해 `22년 이후 지역 특화 인프라 사업 및 해외 수소 생산을 추진함으로써 수소 공급량 추진에 대한 적절성을 추구
- 특히 해외 생산을 통해 그린 수소 확보와 가격 경쟁력 확보를 추구함

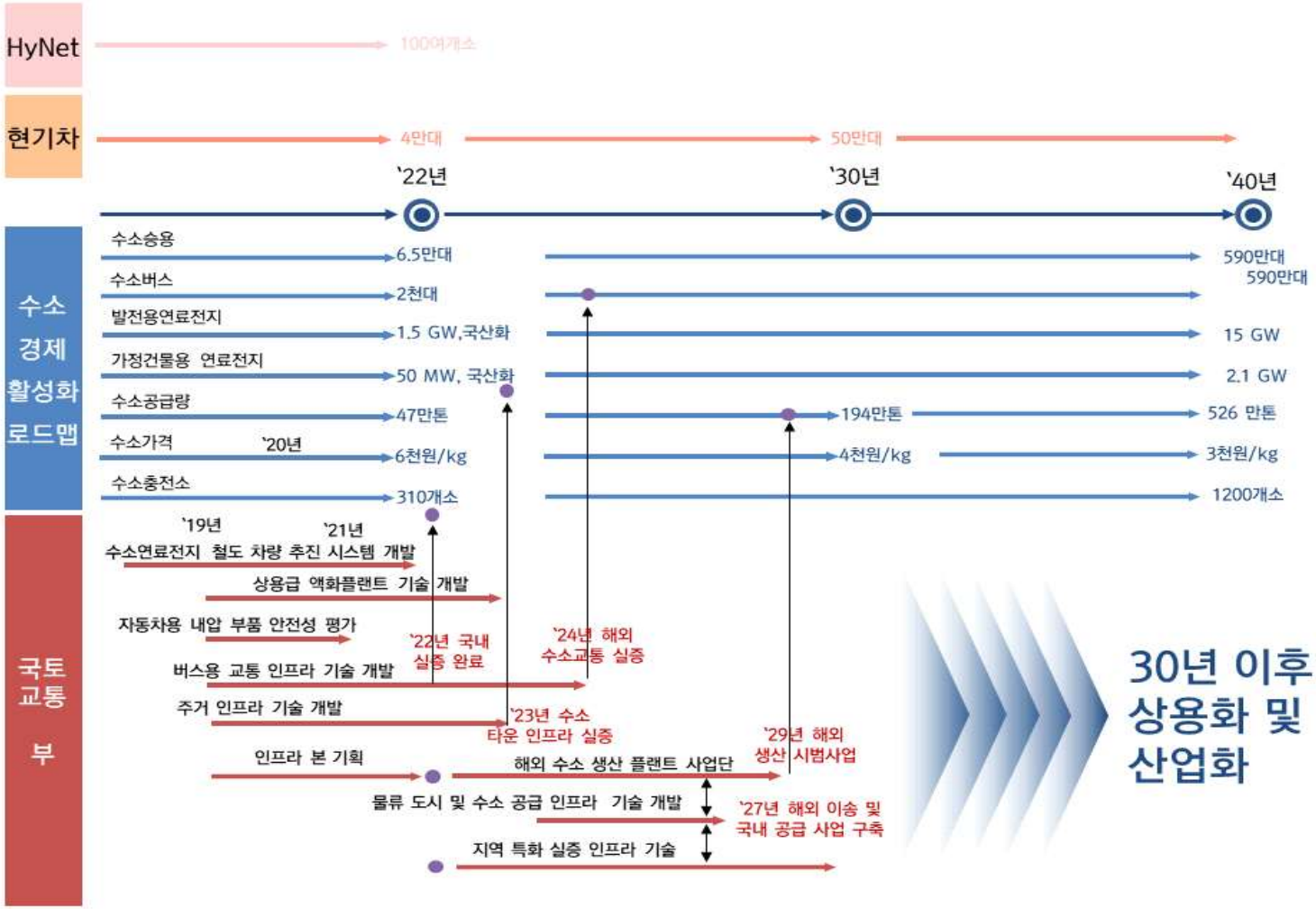


그림 6.2. 수소 경제 활성화 로드맵과 국토부 추진 R&D 로드맵

제 2절 수소 도시 추진 로드맵

1. 요구되는 기술적 로드맵

□ 수소 경제 활성화 로드맵 상의 기술 로드맵

ㅇ 목표 대비 기술 로드맵 분석

- 수소 경제 활성화 로드맵은 에너지 관련 경제 전반에 대해 개별적인 목표를 가지고 있으며, 이에 따른 기술 로드맵 (안)을 제시하였음
- 현재 각 부처별 추진되는 R&D와 수소 경제 활성화 모드맵 상의 기술 개발 목표에 대한 것은 그림 6.3에 비교되어 있음

· 수소 자동차는 부품 국산화 100% 달성이 최종 목표이며, 이는 민간 영역 등에서 기 추진된 상황임. 다양한 소규모 R&D가 추진되어 달성 가능한 목표로 제시되고 있음

· 수소 충전소는 `22년까지 HyNet을 제외하고 210여개소를 민간 영역에서 추가 건설해야 함. 그러나 충전소 부품 국산화가 `22년까지 산업부에서 추진되고 있으며, 100% 달성은 `30년을 목표로 추진되고 있음

· 이러한 사실이 의미하는 것은 현재 건설되는 모든 수소 충전소는 해외 기술이 포함되어야 한다는 것이며, 아울러 기술 개발 이후 국산화 기술로 개발된 부품을 대체할 수 있는 전략에 대한 필요성이 있음을 의미

· 따라서 충전소 부품 국산화 기술 개발 이후 시범사업과 함께 향후 충전소 부품 대체 전략을 추진해야 함

· 연료전지는 SOFC에 대한 기술 개발이 추진되나, 실질적인 운영 등에 대한 시스템적 시범사업 부재로 목표 달성 여부에 대한 현실성이 떨어짐

· 즉 연료전지 자체에 대한 기술개발에 추가하여 운송시 효율, 생산 효율 등을 토탈적으로 검토하여야 발전단가 등을 검토할 수 있으므로 이에 따른 시스템적 R&D 추가가 요구됨

· 수소 터빈은 산업부에서 모든 분야에 대한 R&D를 기획하여 추진할 필요가 있음

· 수소 추출기는 산업부에서 `20년을 목표로 충전소 연계 사업 등을 이미 실시하고 있으므로 충분히 목표 달성 가능할 것으로 분석

· 수전해 기술은 과정부에서 핵심 기술 개발을, 산업부에서 PEM에 대한 MW급의 기술 개발에 대한 R&D가 기 추진되고 있는 상황

· 따라서 시범 사업 추진이 필요한 상황이나, 수소 경제 활성화 로드맵 상의 100 MW급의 신재생에너지와의 연계 시범사업을 위한 테스트베드 구축의 가능성이 관건으로 사료됨
· 암모니아, LOHC는 별도의 원천/핵심 기술 개발로 추진중에 있으며, 암모니아 크래킹에 의한 향후 시범사업 등을 기획할 필요가 있음
· 액화 기술은 유사한 기술로 국토부에서 추진되나, 실질적인 액화에 대한 기술이 아닌 LNG 냉열을 활용하는 것이므로 별도의 R&D 추진이 필요할 것으로 분석

○ (국토부의 중점 추진) 로드맵 상의 기술 시범사업을 위한 인프라 구축과 운영전략 그리고 해외 수입 및 파이프라인 등의 인프라에 집중할 필요가 있음. 이는 결국 수소 시범도시에 대한 추진 전략을 의미하며, 다양한 모델에 대한 시범사업을 추진함으로써 향후 타 부처의 기술개발과 연계를 할 수 있도록 본 기획에서 추진할 필요가 있음

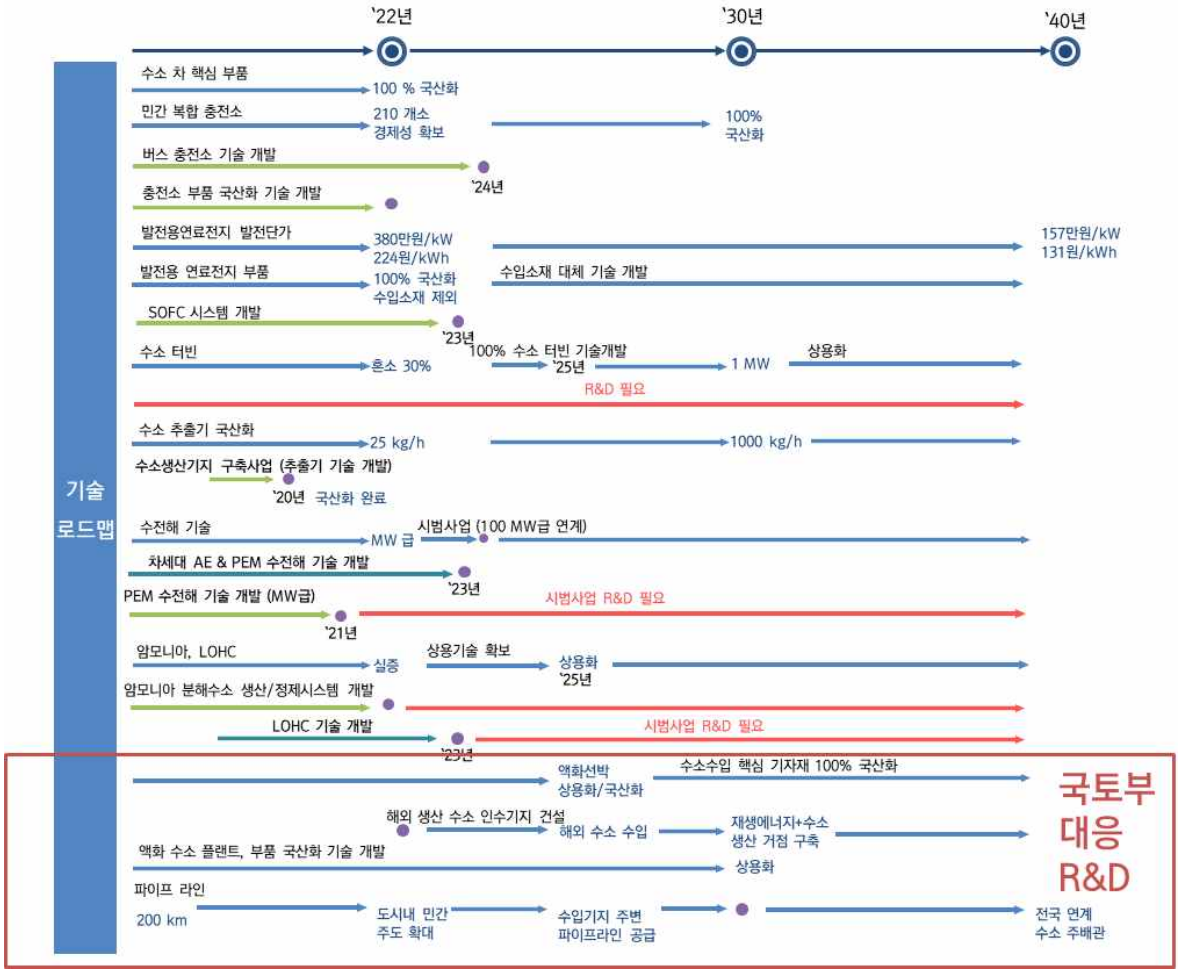


그림 6.3. 수소 경제 활성화 로드맵 상 기술 개발 목표와 부처간 R&D

□ 국토부 영역의 수소 시범도시 기술 로드맵

○ 수소경제 활성화 로드맵과의 기술적 연계

- 각 수소 경제 활성화 로드맵과 타 부처의 기술 개발 현황을 토대로 국토부의 시범 사업 영역을 로드맵화하여 추진
- 개발된 기술의 검증과 함께 안전성 및 시스템 설비의 운영/관리를 명확하게 추진할 수 있는 인프라 구축 시범 도시를 목표로 추진함
- 현재 기 추진되는 기술 개발이 `24년 이내에 완료되므로 이후 기술적 검증이 될 수 있도록 검증 인프라를 위해 concurrent 한 추진 전략을 실시

○ 도출된 7개의 수소 커뮤니티 단위의 수소 도시

- (핵심 모델) 단기적으로 가장 핵심인 수소 교통과 수소 주거 모델은 각 부처 및 수소경제 활성화 로드맵의 핵심이므로 이를 시스템적으로 기술적 완성도의 확인이 가능하도록 최우선 수소 도시 시범 R&D로 추진함

·(주거 모델) 주거용 모델의 핵심은 수소 연료전지이므로 이를 중심으로 수소의 공급과 열/전기의 동시 활용을 위한 기술 로드맵을 작성하여 추진

·(교통 모델) 최 단기적인 목표 달성이 가능한 분야이으로 충전소를 중심으로 운영을 위한 시범 사업 추진 이후 세계 시장 진출 전략을 추진함. 이는 향후 수소 생산을 위한 거점화를 위해 추진함

- (지역 특화 모델) 핵심 모델을 제외한 지역 특화 모델로서, LNG 추출 생산기지 모델, 신재생에너지 연계 수전해 모델은 산업부를 통해서 이미 진행되고 있으므로 제외하되 공급 인프라에 대한 것만 추진
- (장기 모델) 해외 수소 생산 거점을 위한 모델로 수소 교통과 연계를 통해 진행하며 물류도시를 통한 최종 수소 공급 모델로서 제시

·(해외 생산 거점 모델) 해외의 경제적인 신재생에너지 활용과 수전해 기술을 연계하여 그린 수소를 국내로 유입할 수 있는 거점으로 추진.

·(물류 모델) 해외 수입 수소를 저장하고 필요시 국내 공급 체계로 활용

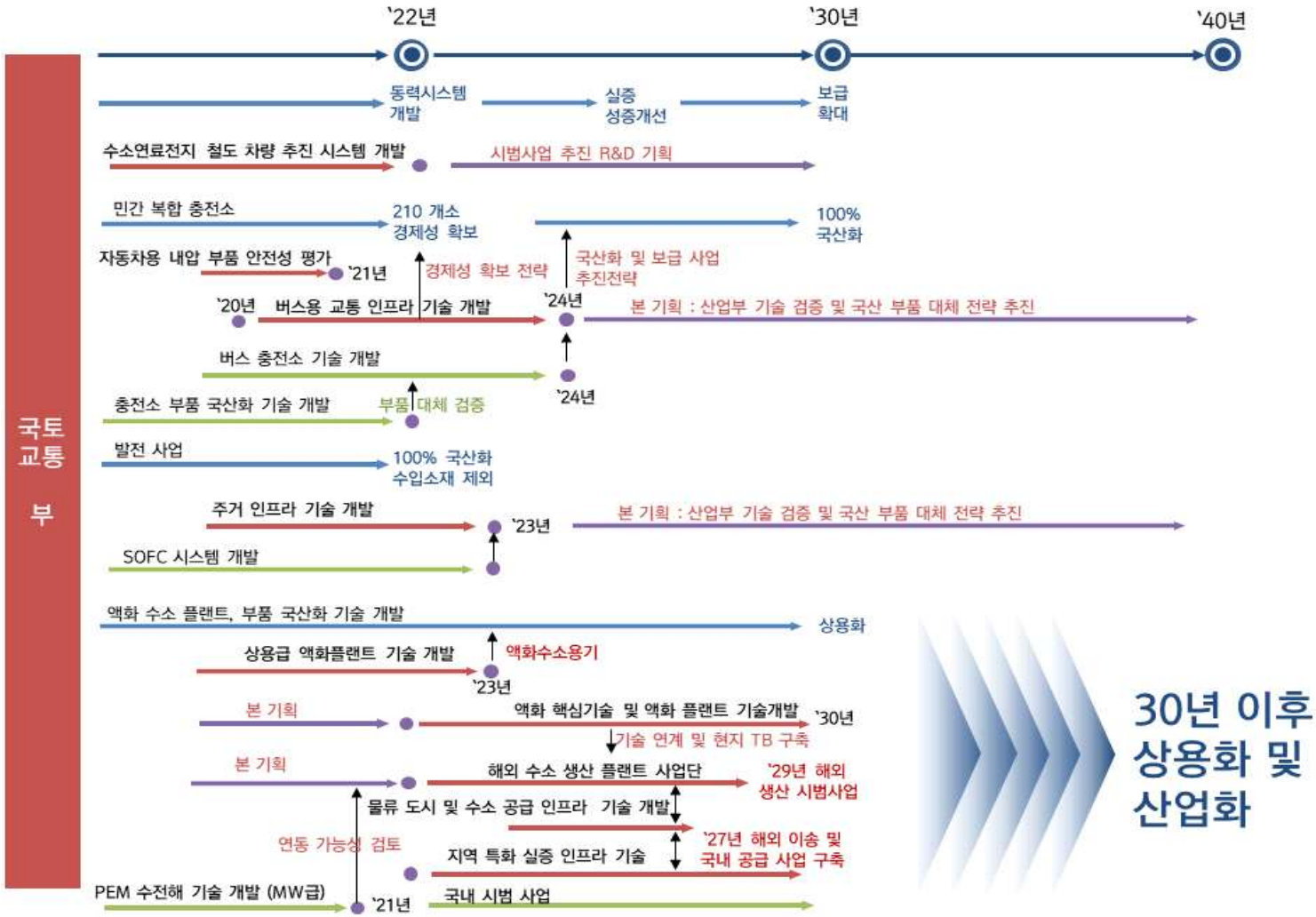


그림 6.4. 수소 경제 활성화 로드맵 기술 목표에 따른 타 부처 개발 기술 활용 및 국토부 추진 R&D 로드맵 추진 내용

□ 지역 특화 모델

○ 단기 핵심 모델로서 수소 주거와 교통 분야는 3절에서 상세한 기술 개발 로드맵을 구성하여 빠른 기술 개발 인프라를 추축하는 방향으로 로드맵을 구성함

- 시급성이 요구되는 수소 생산기지 (추출수소, 그린 수소)등은 타 부처와의 관계를 고려하여 추진하되, 소규모 생산 기술 검증 이후 국토부에서 장기적으로 대형화를 추진하는 방향을 본 기획에서 검토
- 지역 특화 모델은 본기획에서 상세하게 추진 기술 로드맵을 작성하되, 수소 경제활성화 로드맵을 위한 기술 로드맵이 완성된 이후 기술 개발을 추진

○ 해양 도시 모델

- 해양 도시 모델에 대한 지역 community는 적절한 수소 공급을 위한 인프라 구성이 요구되므로 이를 위한 기술개발과 함께 지역내 활용 가능한 냉동창고 등의 설비와의 연계를 위한 기술 구성이 필요함
- 해양 도시내 주력인 선박내 수소 활용을 위한 기술을 기획할 필요가 있으며, 이를 위한 인프라 구축을 주요 핵심으로 추진함
- 해양 도시내 핵심 에너지 생산 가능 기술인 수상 태양광 설비와의 조합을 고려한 수전해 모델 도입 가능성을 검토

○ 친환경 도시 모델

- 지역내 바이오 가스 등을 활용한 그린 수소 생산 인프라 기술 개발과 함께 지역내 스마트 팜 등과의 연계를 통한 선순환 수소 생태계를 구축
- 천연가스 추출 수소와 함께 CO2 재활용을 위한 연계 방안을 고려함
- 다양한 농기계와 드론 등을 활용한 농약 살포 기술 등 농업 활동에 요구되는 기계 분야에 대한 기술 개발 로드맵을 구성

○ 관광 도시 모델

- 환경성을 강조하는 모델로 그린 수소 위주의 소형 단위 community 연계 방안을 고려하여 로드맵을 구성
- 친환경성을 강조하기 위한 리조트 혹은 아울렛, 놀이 동산 등을 위한 에너지 시스템 구축과 내부 소규모 교통 시스템 그리고 수소 차량 등을 위한 충전소 등의 서비스 체계를 구축

□ 해양도시 모델

○ (개요) 교통의 중심 수단으로 소형 선박을 활용하고, 이와 관련된 산업이 발달한 어촌 중심과 해양 관광 산업 등의 지역 도시를 중심으로 수소 에너지 인프라를 구축

- 그림 4.44의 개요와 관련되어 적용 대상으로서 선박 운영, 냉동창고 운영, 해양 리조트 운영 등에 요구되는 에너지를 수소로 공급하는 체계 구축
- 기본적으로 수소 생산 기술은 태양광 혹은 해상풍력 등을 이용하는 방안으로서 고려하되, 타 부처에서 개발하는 핵심 기술과의 연계 방안을 고려
- 타 부처 핵심기술 간의 조합을 통한 기본적인 시스템화를 추진하되, 인프라 구축 및 운영제어 중심의 기술을 개발

○ (추진 목표) 완전한 CO_2 프리 구역 추진

- 신재생에너지와 수소에너지 만으로 운영이 되는 소형 도시 모델을 추진
- 소형 해양 관광단지와 연계할 수 있도록 추진
- 이미 계획된 해상 풍력 및 태양광 단지 등과 복합 연계

○ (필요기술) 해양을 활용한 신재생에너지 체계와 이를 활용한 수전해 방식의 기술을 토대로 수소 공급 체계 구축

- (해상 풍력 혹은 태양광) 현재 상업화된 기술로 별도의 기술 개발 없이 산업부 혹은 상용화 기술을 도입하되 PEME 혹은 AE 기술에 대한 연계 기술 위주로 개발

· 산업부에서 지속적으로 추진한 풍력 및 태양광 발전기술은 상업화된 기술을 활용함

*** 새만금 일대의 태양광 및 해상 풍력은 이미 국가 에너지 수급 정책으로 활용될 계획**
*** 이미 대용량의 신재생에너지 활용 지역 중심으로 계획**

- (수소 생산기술) 산업부 혹은 과정부에서 개발하는 PEME 기술과 연계하는 추진 체계를 구축함

· 현 추진되고 있는 수전해 기술은 해외 선진국 개발 기술 추격형으로 타 부처를 중심으로 개발되고 있음

· 국토부에서는 개발된 수전해 기술을 통한 시스템적 효율 증대에 목표를 두고 추진

*** 현재 PEME 기술은 경쟁적으로 산업부와 과정부에서 추진하고 있어, 장기적인 관점에서 해양도시 구축시 상업화될 것으로 예측**

- (수소 저장기술) 아직까지 액화저장은 경제적/기술적으로 미흡하므로, 현재 잠수함 등에서 활용하는 금속저장을 기본 저장 기술로 추진함. 다만 금속저장은 원천 핵심 기술 확보단계이므로, 향후 기술개발 이후 실증과제로서 추진하고, 이에 따른 공급/이송 인프라 구축에 초점
· 과정부/산업부에서 추진하는 금속저장 기술 개발에 연계를 통해 중복성 및 예산 낭비 방지
· 관련 기술의 실증 계획을 중심으로 추진
· 기술개발이 미흡할 경우 실증 계획을 중심으로 핵심기술→실증기술 단계로 발전
- (수소 선박기술) 타 부처(해양부)에서 개발하는 연료전지 선박 기술이 개발되면, 이를 활용하여 금속 저장에서 연료전지내 수소 공급 기술의 효율화를 타겟으로 추진
· 해양부를 중심으로 선박용 연료전지 엔진 개발을 위한 기획이 실시되고 있음
· 본 기술은 국토부에서 개발하기에는 무리가 있으므로 별도의 개발 트리를 활용
· 범위를 엔진내 금속저장된 수소의 충전에 초점을 맞추어 실증화를 추진
- (응용 산업기술) 현 냉동창고 운영을 위한 냉매를 재활용하기 위해 국토부에서 추진중인 액화기술 개발과 연계하여 수소 저장과 냉동창고에 대한 수소 에너지 응용 분야로서 활요함
· 국토부 추진의 액화기술은 LNG 냉매를 활용하는 방안이므로 LNG 냉매를 냉동창고 저온 유지용 냉매로 대체
- (수소 공급 인프라) 지역내 생산이 가능하므로, 차량이송보다는 파이프라인 공급이 경제적일 가능성이 있음. 따라서 지역 생산 수소는 파이프라인으로 공급하되 부족한 부분은 천연가스 추출으로 보완하는 공급체계 구축
- (소형 교통인프라) 지역산업에 요구되는 특수차량용 수소 운영체계를 구축하여 완전한 CO_2 프리 구역을 추진
· 내부 단거리 이동을 위해서는 수소 이륜차를 활용
· 내부 장거리 이동을 위해서는 수소 택시, 수소 대중 교통 등을 활용

○ (주민 수용성 관점) 해양 산업 및 지역 산업 발전과 연계되어 추진되기 때문에 주변 수소 생산/저장 시설에 대한 수용성 준비가 타 지역에 비해 수월할 가능성이 있음
- 생산 기술이나 혹은 저장 기술 등의 R&D로서 실증을 위해 적극적으로 추진하고 향후 타 지역으로 보급하는 전략 개발
- 이를 위한 보완적 전략으로 지자체와 연합하여 수소 단가조절, 수소 충전소 공급 등에 대한 무상 지원 등을 고려할 필요가 있음

□ 친환경 도시 모델

○ (개요) 지역 농촌을 중심으로 농업 혹은 농장 등의 스마트 팜이 구성된 지역 등을 대상으로 수소 에너지를 공급할 수 있는 인프라를 구축

- 그림 4.43의 개요와 관련되어 적용 대상으로서 농업을 위한 차량, 농장내 온도 조절 에너지 등에 필요한 에너지를 연료전지를 활요하여 공급하는 인프라를 구축한 도시
- 기본적으로 수소 생산 기술은 농업을 위해 활용되게 하기 위해 천연가스 추출을 통한 수소로서 공급하고, 추출과정에서 발생되는 CO_2는 회수하여 식물 성장에 활용하는 선순환 체계를 구축
- 축산 농가에서는 발생되는 축산 분뇨를 수소 발효 시스템을 통해 수소를 생산하여 에너지를 공급하고, 최종 생산 메탄은 천연가스 추출 공정을 통해 추가 수소로 변환하여 공급하는 체계를 구축
- 타 부처 핵심기술 간의 조합을 통한 기본적인 시스템화를 추진하되, 축산분뇨 발효 및 메탄 전환 시스템 등은 이미 핵심기술을 과거에 확보한 바 있으므로 실증 과제로서 추진

○ (추진 목표) 친환경 에너지 순환도시로서 구축

- 에너지 생산과 발생 CO_2의 재순환을 통하여 탄소 프리를 구현
· 마이너스 탄소 지역을 구축함으로써 향후 탄소세 등의 절감 전략 구축
- 농업 증대를 위한 스마트 팜 기술과 연계 전략 추진
· CO_2 공급과 이를 위한 천연가스 개질을 통한 수소 에너지 생산의 에너지 선순환 구조를 구축
· 농장 내 열과 전기 공급을 위하여 연료전지 발전기술과 연계 추진
- 축산업 증대를 위한 에너지 선순환 체계 구축
· 축산 농장내에서 발생되는 축산분뇨를 통한 수소 생산과 연료전지를 연계하여 열과 전기 공급 시스템 구축
· 최종 산물로서 메탄은 천연가스 추출 기법으로 수소와 CO_2 생산
· CO_2는 스마트 팜 등으로 순환 인프라 구축

○ (필요기술) 연료전지 발전 시스템 및 CO_2 분리 기술과 연계된 천연가스 추출 시스템을 메인으로 인프라를 구축

– (연료전지) 현재 상업화된 기술이나 PEMFC에 치우쳐진 기술을 열과 전력의 동시 활용을 위해 SOFC 기술로 연계가 필요

· SOFC 기술의 개발은 산업부에서 활발하게 진행하고 있으므로 국토부에서는 개발된 SOFC 기술을 발전용 실증으로 활용

· 연료전지 시스템내 효율적인 열 공급 기술에 대한 인프라 구축에 초점을 맞추어 연구개발

*** 최적 열공급을 위한 거리 및 열손질 감소 등 경제성 확보를 위한 실증화에 초점**

– (수소 생산기술) 2000년 이전 기 확보된 수소 발효 및 협기성 공정을 활용한 수소 생산시스템 실증화에 초점

· 혐기성 발효 및 공정에 수소의 순도 확보를 위한 기체 분리 기술을 개발

*** 기체 분리막을 기반으로 시스템 구축 기술 확보**

· 별도로 천연가스 추출 시스템내에 CO_2 분리 기술을 결합하여 시스템 기술을 개발하고 분리된 CO_2 순환을 위한 인프라를 구축

– (수소 저장기술) 수소의 생산과 순환을 기본 축으로 인프라 구축 도시이므로 기체 압축 저장을 기본으로 저장 인프라 구축

· 450 bar 저장 기술을 기반으로 경제성 확보를 위해 추가 700 bar 압축 저장 기술 개발

*** 산업부에서 기획단계에 있으므로, 상용화된 450 bar를 우선 적용하되, 향후 700 bar 기술로 대체**

· 저장 시스템까지의 인프라 구축과 실증 계획을 중심으로 추진

– (특수 차량기술) 지게차, 트랙터 등의 특수차량용 수소 충전시스템 개발

· 산업부에서 지게차 등의 수소 엔진기술을 개발하거나 기획 단계임. 이를 기반으로 국토부에서 실증 과제로 추진

*** 응용 단계로 다양한 특수 차량에 적용성을 검증**

· 특수차량에 공급할 소형 수소 충전소 기술 및 인프라를 구축하고, 생산시스템에서 공급 인프라를 구축

– (응용 산업기술) 스마트 팜 운영을 위해 수소 에너지 공급 인프라 구축 및 축산농장내 열과 에너지 공급 인프라 구축

– (수소 공급 인프라) 지역내 생산과 근거리내 모든 수소 활용 구간이 존재하므로, 차량이송보다는 파이프라인 공급이 경제적일 가능성이 있음. 따라서 지역 생산 수소는 파이프라인으로 공급하되 부족한 부분은 천연가스 추출으로 보완하는 공급체계 구축

– (소형 교통인프라) 지역산업에 요구되는 특수차량용 수소 운영체계를 구축하되 특수차량용 소형 수소 충전소 기술에 초점

○ (주민 수용성 관점) 지역 산업 발전과 연계되어 추진되기 때문에 주변 수소 생산/저장 시설에 대한 수용성 준비가 타 지역에 비해 수월할 것으로 예측
- 축산농가의 분뇨 수집 이후 수소 생산 인프라 구축이나 혹은 CO_2 회수를 통한 농작물 생산 기술 등의 R&D로서 실증을 적극적으로 추진하여 생산품의 경제성 확보에 초점
- 각 농업 지역 주민에 대한 보조금 성격으로 다양한 인프라를 무상 공급하고, 전력비용 절감 및 열 비용 절감을 제도적으로 추진
- 소형 수소 충전소를 활용하여 교통 인프라를 구축 및 실증을 통해 주변 도시에 공급하는 실증 도시 체계 구축 전략을 고민

□ 관광 도시 모델

○ (개요) 관광을 위한 청정 지역으로서 수소 및 신재생에너지 만으로 운영이 가능한 소규모 커뮤니티를 구성

- 도시의 규모보다는 관광업과 관련된 소규모의 구역에 초점을 맞추어 탄소 프리 지역으로 구축

- 관광 도시의 목적상 친환경성이 중요하므로 모든 지역에서 수소와 신재생에너지만으로 운영되도록 인프라를 구축

- 리조트, 놀이공원, 친환경 구역 등을 대상으로 기술을 적용함

*** 친환경 구역은 섬 혹은 일정 구역을 친환경 섹터로 지정함으로써 자동차 등의 화석연료가 일체 사용되지 않도록 인프라를 구축한 지역으로 설정**

- 소규모 적용을 위한 태양광, 태양열, 풍력과 수소 에너지를 조합하여 활용

○ (추진 목표) 탄소프리의 지역 커뮤니티 구성

- 태양광, 풍력, 수소에너지 등을 활용하여 에너지를 공급
· 구역내 리조트를 포함한 건물내 난방에너지를 연료전지에 의해 생산되는 열로 공급
· 놀이기구, 리조트내 위락 시설 등을 수소 에너지를 활용하여 운영
· 지역내 친환경 차량을 제외한 기타 차량 출입 금지

*** 지역내 수소 활용 순환 교통 시스템 구축**

- 친환경 구역내 주민에게 수소에너지를 활용한 에너지 공급 시스템 구축
· 신재생에너지 전환을 통한 수소 에너지로 100% 에너지 공급 가능성을 검토

○ (필요기술) 연료전지 발전 시스템 및 중앙 컨트롤 시스템, 수소충전시스템 및 교통체계 구축 등을 기반으로 구성

– (주거단지) 소형 연료전지 (SOFC 기반) 시스템을 구축하고, 중앙 컨트롤 및 제어를 통한 각 단지내 수소 개발 공급 체계 구축 기술이 필요
· SOFC 기술의 개발은 산업부에서 활발하게 진행하고 있으므로 국토부에서는 개발된 SOFC 기술을 발전용 실증으로 활용
· 연료전지 시스템내 효율적인 열 공급 기술과 각 소형 연료전지에 공급될 수소 공급을 위한 중앙 제어 시스템 구축
· 소규모 주거 단지내 수소 공급을 위한 파이프라인 체계 구축
· 주거 모델에서 개발된 기술의 확장 및 실증으로서 연계 추진

– (수소 생산기술) 수전해 기술을 기반으로 부족분을 천연가스 추출로 활용
· 신재생에너지 발전 시스템과 수전해 기술을 통합하여 공급
· 주간에는 태양광 발전과 수소 생상 이후 저장까지 할 수 있는 용량으로 신재생에너지 발전 시스템 구축

– (수소 저장기술) 대용량 저장이 필요 없으로 기체 압축이나 안전을 위한 금속저장을 활용하여 생산된 수소를 저장
· 저장 시스템까지의 인프라 구축과 실증 계획을 중심으로 추진

– (응용 산업기술) 리조트 혹은 놀이 기구용 운영을 위한 소규모 연료전지 발전 시스템을 구축하여 야간에 활용
· 연료전지를 활용한 리조트 등의 열공급 인프라 구축

– (수소 공급 인프라) 지역내 생산과 근거리내 모든 수소 활용 구간이 존재하므로, 차량이송보다는 파이프라인 공급이 경제적임. 따라서 지역 생산 수소는 파이프라인으로 공급하되 연료전지 발전 및 신재생에너지와의 조합을 통해서 전력 공급 인프라 구축

– (소형 교통인프라) 지역내 전 교통을 친환경 차량으로 운영
· 전기차와 수소차 만 운영이 되므로 각각의 복합 충전소를 구축하고 수소와 전기를 공급할 수 있는 인프라를 구축
· 구역 밖에서 관광객 유입을 위한 대중교통 용 차고지 모델을 도입하여 운영

*** 대용량 충전소를 구축하여 관광객용 차량 운영 인프라로 활용**

○ (주민 수용성 관점) 지역 산업 발전과 연계되어 추진되고, 각 기업에서 구축한 시설에 적용하므로 가장 무난한 주민 수용성 확보가 가능
– 단, 경제적으로 불리할 수 밖에 없는 친환경 에너지만 활용하므로 기업 입장에서 동참이 가능하도록 인센티브 제도를 적용
– 발전사업자로서 자격 혹은 전력비 감면에 대한 인센티브 제도를 개발

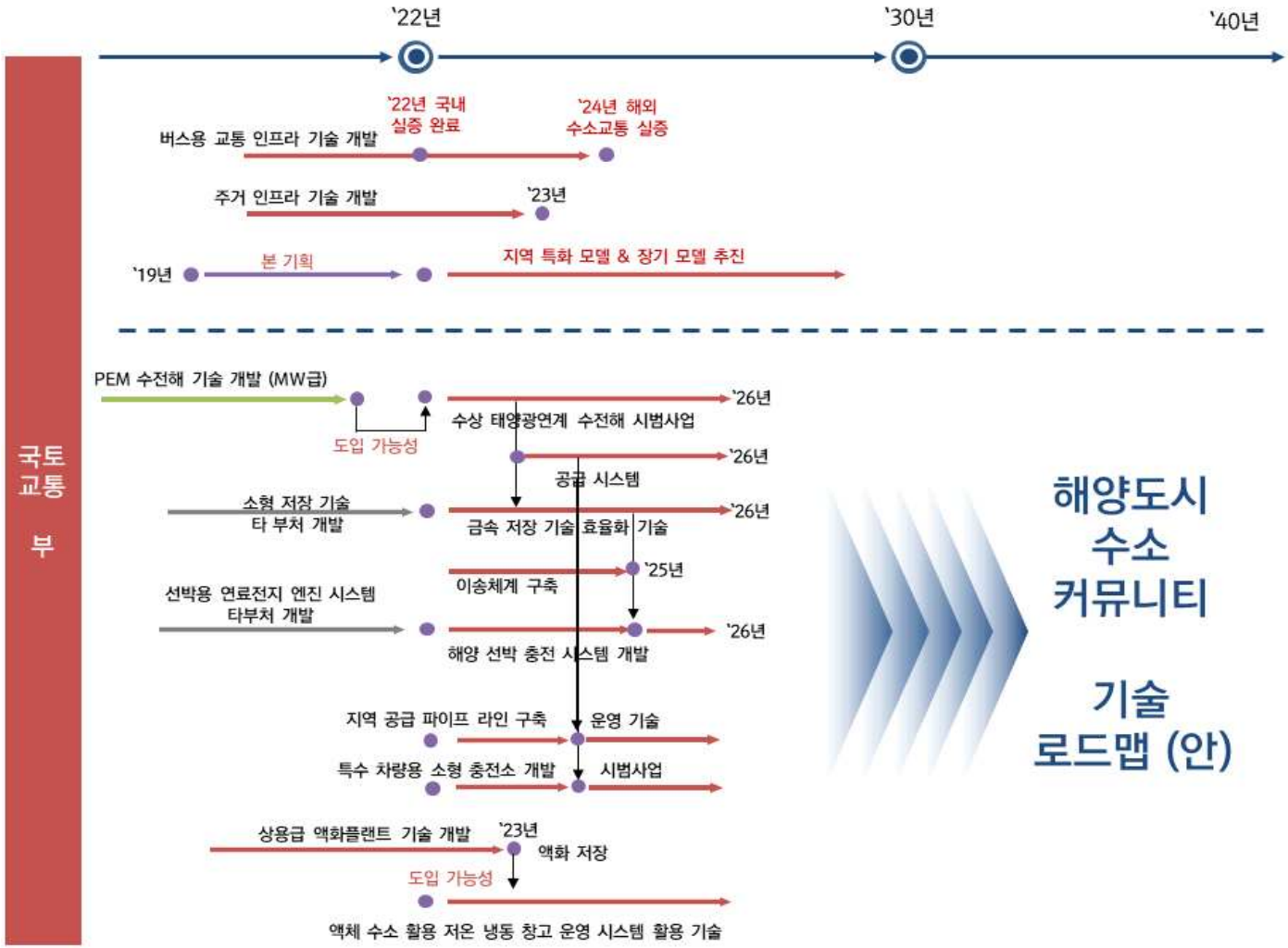


그림 6.5. 해양 도시 수소 커뮤니티 기술 로드맵 (안)

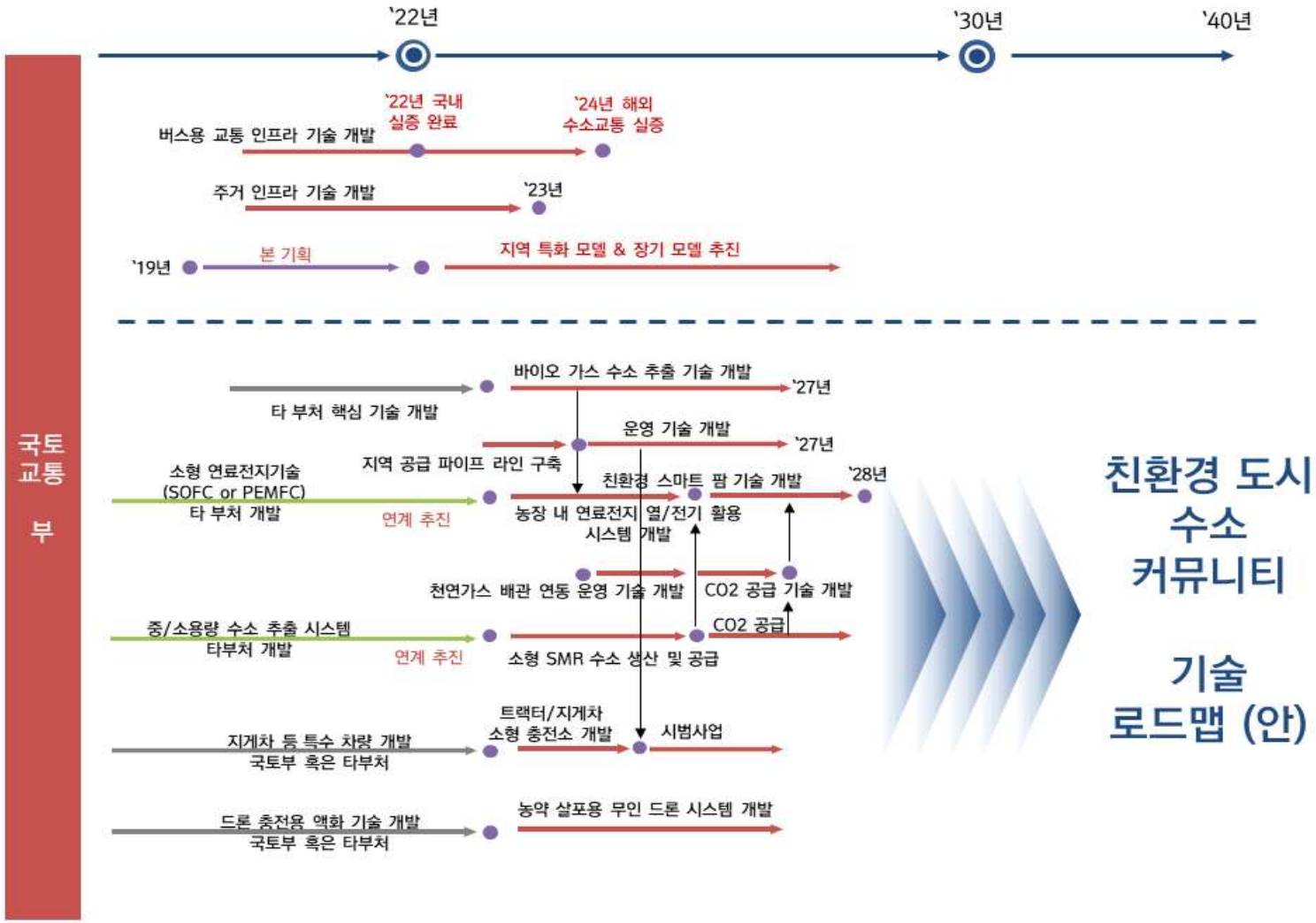


그림 6.6. 친환경 도시 수소 커뮤니티 기술 로드맵 (안)

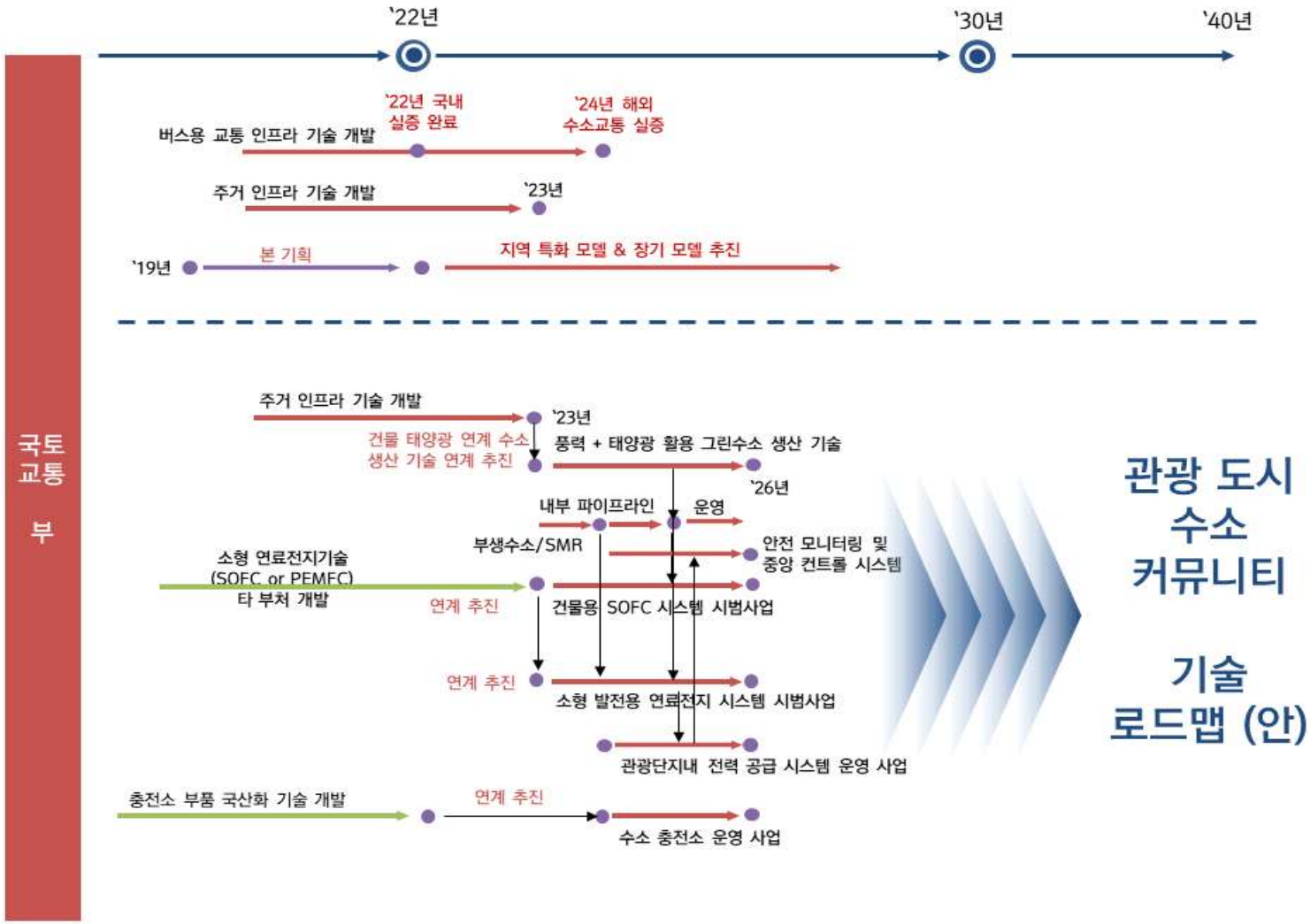


그림 6.7. 관광 도시 수소 커뮤니티 기술 로드맵 (안)

제 3절 단기 핵심 모델

1. 수소 주거 모델

□ 기술 구성

○ 기술 구성의 목적

- 신 에너지 패러다임으로의 전환에서 가장 중요한 것은 직접적으로 활용하는 가정용 에너지 전환이므로 시범사업으로서 이를 위한 잠재적 가능성 검토를 목적으로 추진
- 현 화력 발전에 대한 직접적인 대체 수단으로서 연료전지 발전에 따른 경제성 확보 수단으로서 가능성 점검과 신재생에너지와의 접점을 통한 에너지 하이브리드 수단으로서 활용가능성 검토
- 따라서 주거지역내에서의 활용을 위한 다양한 모델로서 접근을 통해 연료전지 활용 가능성 확보의 목적을 달성하고자 함

○ 필요기술

- 도시형 수소 생산, 저장, 공유 및 활용 시스템으로서의 기술적 구성을 위해 연료전지와 가정용 태양광과의 효율적인 조합으로서의 시스템적 구성 기술
- 재생에너지와 기존 전력 및 가스 등 다양한 에너지 그리드의 통합 네크워크를 구현하고, 이를 구성하는 단위 유닛으로 수소를 활용하는 에너지 하우스 타운 건축을 위한 기술
- 수소기반 친환경 에너지 믹스 공급시스템 계획, 복합에너지 공급시스템 운영 및 관리기술을 통해 시스템의 효율적인 관리체계 도입을 고려
- ICT기반 통합 에너지 소비 관리 및 제어시스템 개발하고 해외 수출 모델로서의 시스템화를 추진

□ 기술 로드맵

○ 추진 일정

- 수소 경제 활성화 로드맵을 위한 기술 개발 시기인 `22년에 맞추어 인프라 검증을 통해 기술개발 검증 시기가 일치할 수 있도록 `20년에 시급히 추진

○ 기술로드맵

그림 6.8. 수소 시범도시 인프라 구축 기술로드맵

2. 수소 교통 모델 (해외 수소기반 대중 교통 인프라 기술 개발)

□ 기술 구성

ㅇ 기술 구성의 목적

- 현 수소 교통은 산업 인프라에 의존하는 경향이 크기때문에 R&D 역할은 시범 사업 내에서 성능 등의 개선 및 시스템적인 안정성 확보가 주 목표가 됨
- 더욱이 현 수소 교통 관련 기술 중 자동차 관련 국내 기술력이 세계적인 경쟁력을 확보한 상황이므로 인프라 관련 기술 위주의 구성과 시스템적 운영 기술 및 모니터링에 주안점을 두고 구성
- 또 하나의 목적은 사업 즉 새로운 비즈니스 영역을 확보하기 위한 것으로 수소 교통의 해외 진출 외적으로 해외 수소 생산 거점 확보를 위한 기술적 목표를 달성 하고자 함

ㅇ 필요 기술

- 현 수소 교통과 관련하여 해외 진출 영역 중 대중교통 분야에 대한 기술에 초점을 맞추고, 실질적으로 수소 승용차는 산업 영역에서 추진
- 수소 버스용 충전 프로토콜과 메가 스테이션 급을 구성하여 차고지 내 수소 충전 모델 및 시스템을 구성
- 가장 초점을 맞추는 것은 가격 경쟁력 확보와 안정성 이며, 버스 수소 충전 프로토콜의 표준화를 목표로 집중
- 해외 적용성 확보를 위해 현지 맞춤형 기술 개발하되 현지의 기온, 환경 등을 고려하여 추진
- 1차적으로 신재생 에너지 확보가 용이한 중동지역을 목표로 추진하되 향후 수소 생산의 현지 거점화 확보 전략 추진

*** `19년 중동과 한국의 수소 도시 추진 MoU에 따른 전략적 방향성으로 추진**

□ 기술 로드맵

ㅇ 추진 일정

- 수소 교통은 모든 국가에서 가장 초점을 맞추는 상황이며, 세계 시장 선점을 위한 가장 주력하고 있는 분야이므로 최대한 빠르게 진행하도록 추진
- `20년 혹은 `21년부터 시급하게 추진해야 함

○ 기술 로드맵 (TRM)

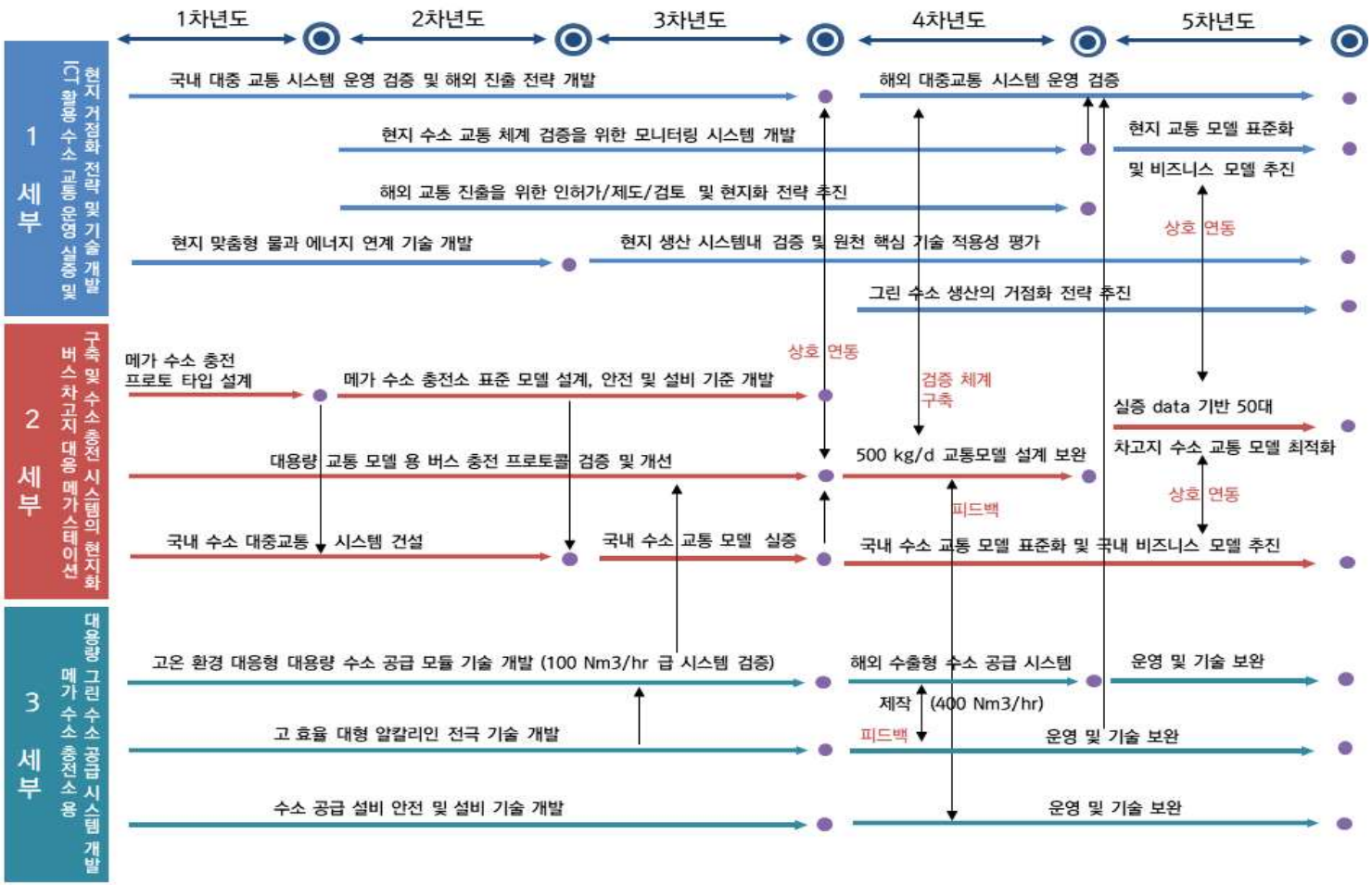


그림 6.9. 해외 수소기반 대중 교통 인프라 기술 개발 로드맵

제 4절 장기 모델

□ 기술 구성

ㅇ 기술 구성의 목적

- 수소 경제 활성화 로드맵은 전반적인 수소 공급을 SMR에 의한 공급체계에서 향후 그린 수소 공급으로 전환하는 것을 지향하고 있음
- 그러나 실질적으로 국내에서 신재생에너지를 활용한 수소 공급체계 구축은 메인 공급원으로 하는 것은 여건상 어려울 듯 사료됨
- 따라서 이러한 목적 달성은 해외 그린 수소 수입 혹은 해외 생산 체계 구축을 통해서 가능할 것으로 사료됨
- 장기 모델은 해외 생산체계 확립을 위한 기술 개발과 현지 거점화 그리고 생산 수소의 국내 이송 후의 공급 체계 구축을 위한 시스템 설계 및 엔지니어링을 목적으로 추진함
- 이 모델 추진을 위해서는 해외와의 협력 체계 구축이 우선이므로 해외 수소 기반 대중 교통 인프라 기술 개발과의 조율을 통해 본 기획에서 거점 확보 전략을 추진함

ㅇ 필요 기술

- 필요 기술은 본 기획에서 상세히 도출 이후 추진
- 전략적인 초점에 맞추어 타 부처 기술의 전략적 도입이후 현지화 전략을 최우선 핵심 전략으로 추진
- 가장 핵심 기술은 신재생에너지 전환을 통한 수소 생산 플랜트와 이송을 위한 액화 플랜트 기술 확보이며, 액화 수소 이송이 가능한 운송수단 확보도 필요
- 물류 도시의 핵심은 이송 수소의 저장과 전 국토 이송을 위한 공급 수단으로 정리될 수 있음
- 액화 수소의 적절한 이송 체계 확보도 중요한 부분으로 고려
- 최종적으로 이러한 수소 수급 체계의 적절한 관리와 ICT를 활용한 전 국토내 수소 공급 및 활용 현황을 모니터링 및 컨트롤할 수 있는 에너지 스마트 도시화를 추진

□ 기술 로드맵

○ 추진 일정

- 향후 본기획을 통해서 상세 일정을 추진해야 하나 최종 시작 일정을 `22년 이후 시작하는 방향으로 설정
- 이는 수소 경제 활성화 로드맵 상의 1차 목표 일정이 `22년이며, 이때까지 기본 인프라의 기술 개발이 일정이상 될 것으로 사료되므로 이를 연계하여 해외 수출전략을 추진하는 일정으로 연계
- 수소 경제 활성화 로드맵 상의 `30년 이후 해외 수소 수입 혹은 해외 생산 체계를 고려할 경우 `22년 이후 기술 개발의 현지화와 2년간의 시범사업을 추진하여 현지 거점화를 완성하는 방향성을 고려

○ 추진 지역

- 다양한 지역이 대상일 될 수 있으나, `19년 2월 UAE와의 수소 도시 협력체계를 위한 MoU를 체결한 후속 조치로 시행
- 본 기획에서는 사업 대상지역에 대한 조사를 바탕으로 생산거점 지역 대상국을 선정하고 협력체계 구축 전략을 도출
- 주요 대상 지역

·(동남아) 수소 생산 보다는 암모니아 운송에 초점을 맞추어 암모니아 크래킹에 의한 수소 공급을 고민

·(호주) 호주의 일본 수소 수출 전략에 초점을 맞추어 진행하는 방안을 고민하며, 이는 해외 생산이 아닌 해외 수입에 초점을 맞추어 진행하되, 타 지역 생산 수소의 유입에 대한 경제성 평가를 위한 기준으로서 고민

·(유럽) 풍부한 그린 수소 생산지역에서 국내까지 이송할 경우에 대한 경제성 확보를 고민

○ 기술 로드맵 (TRM)

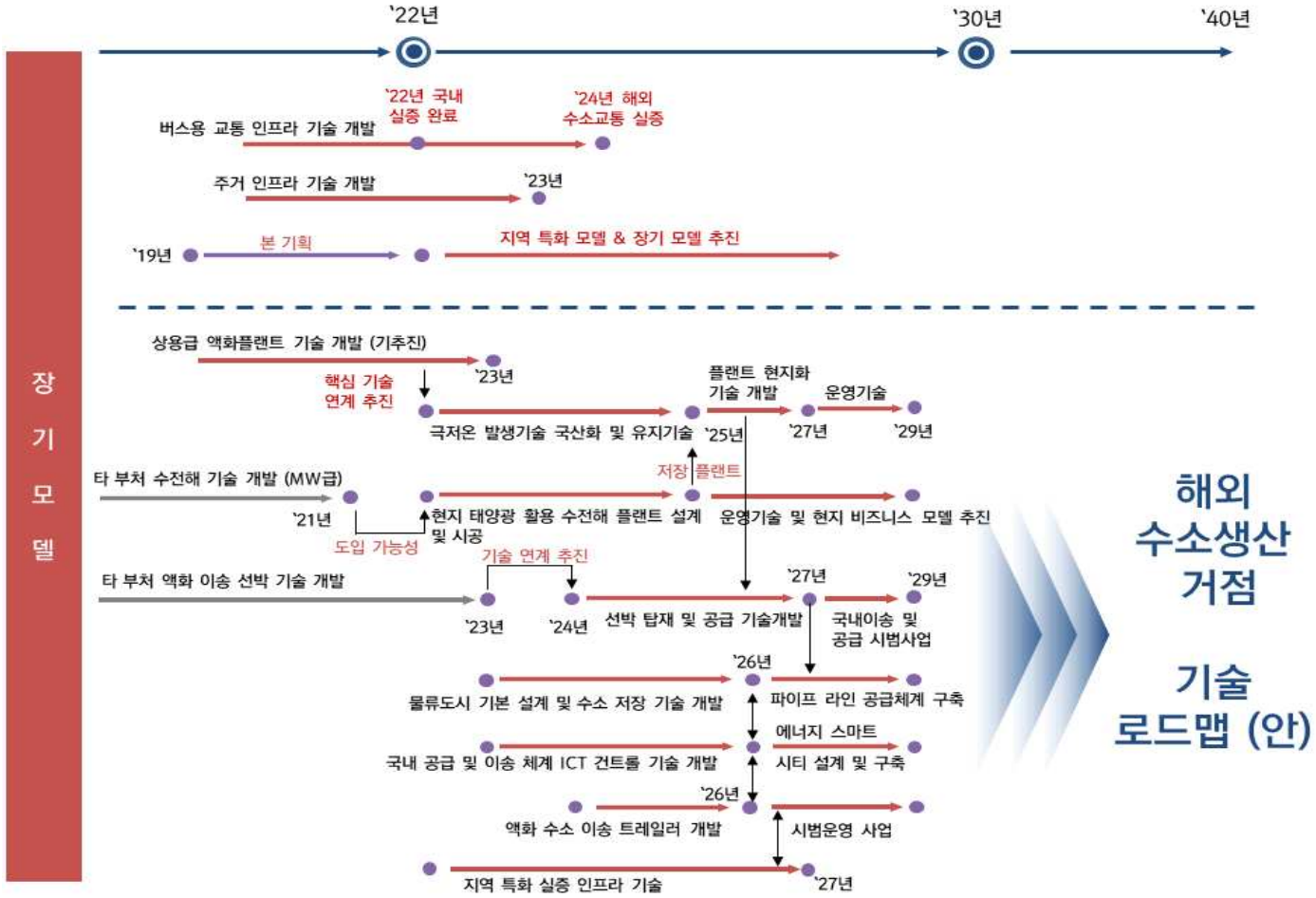


그림 6.10. 장기 모델로서 해외 수소 생산 거점 및 물류도시 기술 개발 로드맵

제 5절 기대 효과

□ 기술적 기대 효과

- ㅇ 수소 교통 등의 수소 관련 분야의 세계 수준 경쟁력 확보를 통한 기술 선도국으로서의 이미지 제고
- ㅇ 신 에너지 체계로의 전환에 대한 기술적 완성도 제고와 수소 경제의 가격 경쟁력 확보를 통한 세계 선도 기술 확보
- ㅇ 수소 승용차 등의 국산화를 통한 해외 수출 시 실질직인 국익 창출 증대 및 기술 강국으로서의 산업 생태계 창출
- ㅇ 국내에서는 유일하게 에너지의 자원화 및 신재쟁에너지 원으로서 원자력 발전을 대체할 수 있는 기술 확보
- ㅇ 에너지·환경 관련 플랜트 건설산업의 선진화 및 국가 경쟁력 확보를 통한 국내 건설산업의 세계 에너지 시장 및 교통 시장 진출 및 지위 유지 기반 확보
- ㅇ 국내 에너지 다변화 정책으로서 활용될 수 있는 기술로 화석연료 활용 분야를 상당부분 대체할 수 있는 수단으로서 활용
- ㅇ 신재생에너지 활용을 위한 기술적 보완 수단으로서 활용함에 따라 국내 신재생에너지 활용율 제고

□ 경제적 기대 효과

- ㅇ 글로벌 수소경제 구현을 리딩하고 UAE와 공동연구를 확대하여 기술 수요국 대상으로 연구개발 성과의 해외 사업화 가능성 제고
- ㅇ UAE 혹은 신재생에너지 국가와 전략적 파트너십을 토대로 해외건설형 한국 수소도시(Korea H2-city) 비즈니스 모델 창출 가능
- ㅇ 새로운 비즈니스 모델 창출에 따른 고급 일자리 창출에 대한 기대감 고조
- ㅇ 에너지 분야에 대한 신성장 동력으로서 에너지 분야에서 유일하게 선진국과의 경쟁력 확보에 있어 우위를 선점

○ 수소 분야의 세계 시장 선점은 미국, 일본, 호주 등의 선진국과 경쟁하는 분야로 본 연구사업을 통해 시장 선점에 대한 유리한 위치를 확보

○ 현 승용차 시장을 수소 자동차 시장까지 연계할 뿐만아니라 수소 대중교통 인프라 분야까지 확대할 수 있는 잠재적 가능성 확보

○ 국제적 생산 거점 확보에 따른 순수 에너지 수입국에서 에너지 수출국으로서의 전환을 기대

○ 에너지 안보에 대한 기틀을 마련

□ 환경적 기대 효과

○ 기후 변화 대응 수단으로서 신 에너지 패러다임 추구

○ 미세먼지 저감 등의 직접적인 수단으로 환경적 복지 수단으로서의 활용

○ 대중교통 혹은 노후차량에서 발생되는 다양한 대기 오염물질 저감을 위한 직접적인 교통 대체 수단으로서 활용

○ 국민적 청정환경에 대한 기대감 및 국민 복지에 대한 요구에 부합하는 정책적/환경적 수단으로서 활용

○ 파리 협정에 따른 실질적인 이산화탄소 저감을 위한 직접적인 수단으로 활용할 수 있으며, 이에 따른 탄소배출권 확보 수단으로 활용가능

○ 국가 차원의 청정이미지 제고에 따른 국가 브랜드 상승

붙임

참 고 문 헌

1 The Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Plan, DOE, 2011

2 Current (2009) State-of the Art Hydrogen Production Cost Estimate Using Water Electrolysis, Independent Review, DOE, 2009

3 The Fuel Cell Technologies Program Multi-Year Research, Development, Demonstration Plan, DOE, 2012

4 Renewable Energy in Cities, IRENA, 2016

5 Hydrogen Production & Distribution, IEA Energy Technology Essentials, IEA, 2007

6 Hydrogen Produciton and Strorage, R&D Priorities and Gaps, IEA, 2006

7 Fuel Cell Technologies Market Report 2016, DOE, 2017.

8 The Driving Force, Managing Hydrogen Projects with Linde, Linde Group, 2016

9 Hydrogen Station Compression Storage and Dispensing Technical Statue and Costs, NREL, 2014.

10 Jefferson, C. & Skinner, J., Hydrogen City, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 93, 2006.

11 Technology Roadmap, Hydrogen and Fuel Cells, IEA, 2015.

12 전기·수소차 보급 확산을 위한 정책방향, 혁신성장 관계장관 회의, 관계부처 합동, 2018.

13 산업자원부, “친환경 수소경제”구현을 위한 마스터 플랜, 2005

14 수소차 보급 및 시장 활성화 계획(안), 관계부처 합동, 2015.

15 A California Road Map, Bringing Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles to the Golden State, Califonia Fuel Cell Partnership, 2012.

16 Hydrogen Scaling Up, Asustainable Pathway for the Global Energy Transition, Hydrogen Council, 2017

17 National Hydrogen Scenarios, U_2USA, 2017.

18 2018 Annual Evaluation of Fuel Cell Electric Vehicle Deployment & Hydrogen Fuel Station Network Development, California Ari Resources Board, 2018

19 The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands, InnovationBoard, 2017

20 Outlines of a Hydrogen Roadmap, TKI NIEUW GAS, 2018

21 National Hydrogen Roadmap, Pathways to and Economically Sustainable Hydrogen Industry in Australia, CSIRO, 2018

22 Renewable Hydrogen Roadmap, EIN, 2018

23 Aberdeen City Region Hydrogen Strategy & Action Plan 2015-2025, H2 Aberdeen, 2015

24 Transport Energy Infrastructure Roadmap to 2050, Hydorgen Roadmap, LowCVP, Elementenergy, 2015

25 Hydrogen and Fuel Cells: Opportunities for Growth, A Roadmap for the UK, E4tech and Element Energy, 2016

26 Hydrogen Roadmap Europe, Asustainable Pathway for the European Energy Transition, FCH JU, 2019

27 Hydrogen Enabling a Zero Emission Europe, Technology Roadmaps Full Pack, FCH JU, 2018

28 우항수, 울산 수소타운 시범사업 현황, Journal of the Electric World/Monthly Magazine, pp. 35-41, 2014

29 A California Road Map, The Commercialization of Hydrogen Fuel Cell Vehicles, California Fuel Cell Partnership, 2014.

30 Brown, D.R., Hydrogen Produciton US and Worldwide 2013, Https://www.researchgate.net/publication/296332693,

31 Overview of the Market Segmentation for Hydrogen across Potential Customer groups, Based on Key Application Areas, Nwe Nergy World JU, CertifHy, 2015,

32 Fuel Cell and Hydrogen Tehcnology:Europe`s Journey to a Greener World, FCH JU, 2017

33 이 & 김, 수소전기차, KISTEP 기술동향 브리프, 2018-20호, 2018

34 Fuel Cell Technical Team Roadmap, USDRIVE, 2013 & 2017

35 이상현, 수소로 가는 전기차, 산업분석/자동차/기계, IBK 투자증권, 2018

36 문용권 외, 자동차산업 (수소차 특집), Industry Report, 신영증권, 2017.

37 수소연료전지차 (FCEV) 관련 국내외 동향 및 정책 제안, 대한석육협회, 2018

38 이재일 외, 수소차 시대의 개막, 전기차 시장 초기의 데자뷰, 유진투자증권, 2019

39 Strategies for Joint Procurement of Fuel Cell Buses Fianl Report, FCU JU, 2018

40 구 & 조, 2017 수소전기자동차 기술개발 동향, KEIT PD Issue Report Vol. 17-3, 2017

41 친환경자동차 보급 확대 및 시장 활성화를 위한 정책방향 연구, 한국제품안전학회, 녹색성장지원단, 2015

42 친환경 자동차, 하이브리드차, 플러그인하이브리드차, 전기차, 수소차, 환경부, 2015

43 Gibrael, N., & Hassan, H., Hydrogen-Fired Gas Turbine for Power Generation with Exhaust Gas Recirculation, Malardalens Hogskola Eskilstuna Vasteras, 2018

44 Larfeldt, J., Hydrogen as Fuel in Gas Turbines, Siemens, 2017

45 이승환, 수소생산의 필요한 개질기술 소개, 가스신문, 2019.

46 Hydrogen Production: Overview of Tehcnology Options, FreedomCar & Fuel Partnership, 2009.

47 Hydrogen Production Tech Team Roadmap, USDRIVE, 2013 & 2017

48 Hydrogen from Renewable Power: Tehcnology Outlook for the Energy Transition, IRENA, 2018.

49 Hydrogen Production Disruption, Hazer Group LTD, 2018

50 Jens, R. R.-N. & Thomas, R.-N., Large-scale Hydrogen Produciton, TOPSOE technologies,

51 Hydorgen Production from Coal, Fact Sheet Series, www.HydrogenAssociation.org

52 Gedik, A., Bode, A., Marquardt, T., and Kabelac, S., Influence of Different Hydrogen Production Processes on Carbon Footprint and Cost of Selected Chemicals, 2018.

53 Haussinger, P., Lohmuller, R., and Watson, A.M., Hydrogen, 2. Production, Encylopedia of Industrial Chemistry Vol. 18., pp 249-307, 2012

54 Naimi, Y. and Antar, A., Hydrogen Generation by Water Electrolysis, IntechOpen, http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76814, 2018

55 Jorg, D., Refhyne Project: 10 MW Electrolyer Rhineland Refinery, General Overview, Refhyne, 2018

56 송근수, 국내외 수소 생산기술의 연구개발 동향, Konetic Report 2016-38호, KEITI, 2016

57 한상범, 고분자전해질 수전해 시스템 기술 동향, KIC News, Vol. 21, pp. 1-9, 2018.

58 On-site Hydrogen Generation Systems, HYGEAR,

59 Nel Hydrogen Electrolyser: The World`s Most Effecient and Reliable Electrolyser, nel.

60 Thomas, D., Renewable Hydrogen: The Missing Link between the Power, Gas, INdustry and Transport Sectors, HYDROGENICS, 2018.

61 HyGrid project: Flexible Hybrid Separation System for H2 Recovery from NG Grids, FCH JU, www.hygrid-h2-eu 2017.

62 Laumann, F., Verbecke, F., Duclos, A., Zanoto, A., and Zhiyong, L., Description fo Selected FCH Systems and Infrastructure, Relevant Safety Features and Concepts, Final Version, HyResponse, 2015

63 Weber, M. and Perrin, J., Chapter 4. Hydrogen Transport and Distribution, Hydrogen Technology, Springer-Verlag, pp. 129-149, 2008.

64 Hydrogen Delivery Technical Team Roadmap, USDRIVE, 2013 & 2017.

65 Hydrogen Storage & Distrubution in a Power to H2 context, Air Liquide, Blue Hydrogen, Air Liquide, 2014.

66 Johansson, F., Spross, J., Damasceno, D., Johansson, J. and Stille, H., Investigation of Research Needs Regarding the Storage of Hydrogen Gas in Lined Rock Caverns, Technical Report, 2018.

67 Pluijim, R. v. d., HyStock, Connecting and Distrubuting Electrons and Molecules, Energystock, 2018.

68 Hurskainen, M. and Karki, J., Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) - Concept Evaluation and Techno-economics, 2018.

69 Mao, J., Light Metal Hydrides for Reverisble Hydrogen Storage Applications, Unversity of Wollongong Research Online, 2011.

70 Hydrogen Storage Technical Team Roadmap, USDRIVE, 2013 & 2017

71 Krishna, R., Hydrogen Storage for Energy Application, ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/257924806, 2012.

72 Report on Hydrogen Storage and Applications Other than Transportation, Ministry of New and Renewable Energy, Government of India, New Delhi, 2016.

73 Gupta, A., Hydrogen Storage, Distribution and Cleaning, Study in collaboration with AGA AB, 2017.

74 Hartley, P., Australia`s National Hydrogen Roadmap: Storage & Transport, CSIRO, 2018.

75 Berstad, D et al, Large-scale Hydrogen Production and Liquefaction for Regional and Global Export, SINTEF, Interantional Hydrogen and Fuel Cells Conference, Trondheim, 2018.

76 수소충전인프라 핵심구성품 개발, 국산화 방안 및 설치 최적화 방안, 효성, 2016

77 Reuter, et al, New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots: Guidance Document on Large Scale Hydrogen Bus Refuelling, FCH JU, NewBusFuel, 2017.

78 김우식과 구영덕, 수소에너지의 첨병 수소스테이션 국내상륙, KISTI, Emerging Issue Report.

79 박진남, 수소충전소 기술 및 정책 현황, 공업화학 전망, 제 21권, 제 3호, 2018.

80 Ikeda, T., Status of Hydrogen Fueling Station Technologies in Japan, International Hydrogen Infrastructure Workshop, 2018.

81 문동주와 이병권, 수소 스테이션의 연구개발 동향 및 단위공정 기술, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 43, No. 3, pp. 331-343, 2005.

82 Berger, R., Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions, FCH JU, 2018.

83 Hydrogen Supply Chain Evidence Base, Element Energy Ltd, 2018.

84 IEA Hydrogen and Fuel Cells Technology Roadmap, IEA, 2016.

85 H2 interantional, The E-Journal on Hydrogen and Fuel Cells, www.h2-international.com/April 2018,

86 수소연료전지 실용화 요인 분석 및 육성 전략 방안 연구보고서, 녹색기술센터, 2015.

87 The Fuel Cell Industry Review 2017, E4tech, www.FuelcellindustryReview.com, 2017

88 나승두, 어느덧 우리 가까이 다가온 수소경제, SK 기업 분석보고서, 2018.

89 연료전지 기술의 연구개발과 산업동향, 녹색기술센터, 2018.

90 Nielsen, E.R. and Prag, C.B., Enefield Project: Learning points from Demonstration of 1000 Fuel Cell Based Micro-CHP units, Summery of Analyses from the Ene.field Project, FCH JU, 2017

91 Enefield Project: Field demonstration of small stationary fuel cell systems for residential and commercial applications, New Energy World, JU, 2011.

92 Fuel Cell Market Size Worth USE 25.5 Billon by 2024: Global Market Insights Inc, Global Market Insights, www.gminsights.com

93 신재생에너지 수소연료전지의 기술개발 동향, Konetic Report 2014-42호, KEITI, 2016

94 Ito, H., Economic and environmental assessment of phosphoric acid fuel cell-based combined heat and power system for an apartment complex, Inter. J. of Hydrogen Energy, Vol. 42, pp. 15449-15463, 2017.

95 노동운과 이효선, 파리협정의 온실가스 감축목표와 에너지 효율 개선 및 신재생에너지 확대 기여 전망, 세계 에너지 시장 인사이트 제 17-12호, 2017.

96 신재생에너지 백서, 산업통산자원부 & 한국에너지공단, 2018

97 에너지통계 핸드북 2019, 한국에너지공단, 2019.

98 교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이, 환경부, 2016.

99 Renewable Power Genergation Costs in 2017, IRENA, 2018.

100 Lokke, J.A., Nel Hydrogen, nel. 2018.

101 Bockris, J.OM. The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment, Intern. J. of Hydrogen Energy, Vol. 27. pp. 731-740, 2002.

102 The Hydrogen Economy, VOLUME III / NEW DEVELOPMENTS: ENERGY, TRANSPORT, SUSTAINABILITY, pp. 319-335.

103 Bockris, J.OM., The Hydrogen Economy: Its History, Intern. J. of Hydrogen Energy, Vol. 38, pp, 2579-2588, 2013.

104 Technology Brief: Analysis of Current-Day Commercial Electrolyzers, NREL, DOE, www.nrel.gov, 2004.

105 Evers, The Hydrogen Society: more than just a Vision?, H2YDROGEIT, 2010

106 최동원, 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전방안 도출, 에너지경제연구원, Energy Focus, pp. 74-90, 2017.

107 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 2019

108 홍성안 외, 국내 수소 생산, 소비 및 유통현황에 대한 분석 연구, 2017년 GIST 융합기술연구사업 결과보고서, 2018

109 수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방안, H2KOREA, 2017.

110 이덕권외, 국내 수소타운내 0.1MPa 이하 저압 수소 사용시설의 안전관리 항목 분석, KIGAS, Vol. 19. No. 6, pp. 85-91, 2015.

111 우항수, 수소산업과 수소경제의 미래, 울산발전 연구원, 2019

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 미래수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 미래수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.